

بداية بلا نهاية

تأليف

جورج جاموف

ترجمة

محمد زاهر

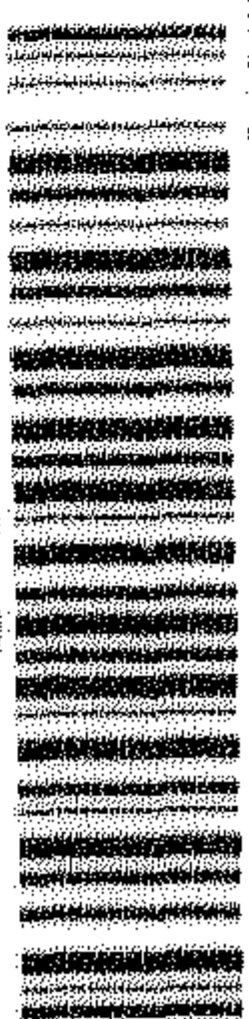


المكتبة الوطنية - الأرشيف - مصر



Bibliotheca Alexandrina

0007171



بداية بللهايت

الألفا كتاب الثاني

الإشراف العام

و. سمير سرحان

رئيسة بملت ابلوارة

رئيس التحرير

لمسعى المطبوعى

مدير التحرير

أحمد صليحة

سكرتير التحرير

محمود عبيد

الإشراف الفنى

محمد قطب

الإخراج الفنى

مراد نسيم

بدرالیت بلال نہایت

تأليف
چسورج جاموف

ترجمة
محمد زاهر المنشاوي



الهيئة العامة للكتاب

١٩٩٠

الاخراج الفنى : عمر حماد على

مقدمة الطبعة العربية

ان أعظم مغامرة قام بها الانسان هي محاولة ارتياد الكون وسبر أغواره ، فمنذ أقدم العصور أخذ يتطلع الى صفحة السماء ويراقب حركات النجوم والكواكب في أفلاكها ، فأذهله الاحكام الذي تتسم به حركاتها ودوراتها ورأى فيها تجسيدا لقوى خفية تتحكم في مصائره وحظوظه ، ووضع نظريات تمتزج فيها المشاهدة بالخرافة أو بالأسطورة ليفسر نشأة الكون وآليات عمله ، ومع اتساع آفاق العلم في عصرنا الحديث تطلع الانسان الى التعرف على القوانين العلمية التي تحكم حركة الكون ، فتكشف له كون آخر لا يقل روعة واحكاما عن ذلك الكون العظيم الذي نعيش فيه ونعنى بذلك الكون الآخر أو الكون الصغير عالم الذرة .

وعلى صفحات هذا الكتاب نقراً قصة بحث الانسان عن القوانين التي تحكم هذين العالمين . وأهمية هذا الكتاب لا تنبع من عرضه للحقائق العلمية بل هي ترجع الى قدرته على تبسيطها للقارئ العادي الذي قد يعجز أحيانا عن فهم تلك الرؤية الجديدة للكون التي بشر بها علم الفيزياء الحديث في مطلع القرن العشرين مع ظهور النسبية وميكانيكا الكم . وقد تبدت للانسان قوى أربع تتحكم في آليات هذين الكونين وهي قوة الجاذبية التي تسيطر على حركات الأجرام السماوية بل وحركاتنا نحن أنفسنا وهي القوة الأساسية في الكون الأكبر ، ثم ما يعرف بالقوة الذرية الكبرى التي تمسك بعناصر نواة الذرة والقوة الكهربائية المغناطيسية التي تجعل الإلكترون يسير حول النواة والقوة النووية الضعيفة أو الصغرى التي تؤدي الى الانحلال الاشعاعي في بعض الذرات مثل اليولانيوم وهذه القوى الثلاث الأخيرة هي التي تحكم الكون الأصغر أو عالم الذرة وهي القوة التي سعت الى توحيدها نظريات التوحيد الكبرى الحديثة في اطار المحاولة التي يسعى العلماء بها الى التوصل الى قانون عام واحد يمكن على أساسه تفسير حركات أو ظواهر هذين الكونين العظيمين .

وهذا الكتاب من أشهر الكلاسيكيات العلمية التي تؤرخ لتطور الفيزياء الحديثة حتى منتصف القرن العشرين وهي الفترة التي ظهرت فيها أروع نظريتين علميتين وهي النسبية وميكانيكا الكم اللتين تشكلان

أساس المحاولات الحديثة للوصول الى النظرية التوحيدية العامة . ويعتبر كتاب بداية بلا نهاية (واسمه في الأصل ١ - ٢ - ٣ مالا نهاية) من أهم الكتب التي استطاعت أن توضح للقارئ صورة الكون الرباعي الأبعاد الذي يدخل فيه الزمن كبعد رابع وعلى الرغم من ألفة القارئ الحديث لاسم هذه النظرية (النسبية) واسم واضعها (أينشتين) وكلمة البعد الرابع الا أننا قد نجد صعوبة في فهم هذا التداخل الغريب لعنصر الزمن في تشكيل رؤيتنا للأشياء وهذا هو الانجاز الحقيقي لكتاب بداية بلا نهاية الذي جعله من أهم كلاسيكيات تبسيط العلوم والذي نال مؤلفه جائزة من اليونسكو في هذا المجال ، فالقارئ يخرج منه بفهم لحقيقة هذا البعد الذي قد لا يكون مؤلّوفا في عالمنا .

واسم الكتاب مأخوذ من المتواليّة الرياضية اللانهائية والتي استبدلناها في العربية بمعناها المجازي بداية بلا نهاية الذي قد يكون أقرب الى الفهم . فالمؤلف هنا يرمى الى توضيح فكرة اللانهائية التي قد نعجز عن تصورهما في مشاهداتنا اليومية فلكل شيء بداية ونهاية ولكل شيء حد فوقى أو جانبي أو علوى ولكن فكرة اللانهائية مغايرة لعالمنا المحدود نسبيا فمع اتساع الأبعاد الفلكية والسرعة الضوئية يتلاشى مفهوم الزمان والمكان ، ولقد كان جورج جاموف مؤلف هذا الكتاب من أنصار نظرية الانفجار الكبير الذي نشأ منه الكون ومن مؤيدي نظرية التمدد الكوني التي نادى بها فريدمان والتي ترى أن الأجرام السماوية والمجرات آخذة في التباعد الى ما لا نهاية ، وهذا التمدد قد يكون رد فعل لحالة اختزال أولية انكمشت فيه المادة اللانهائية قبل الخليقة الى كتلة عالية الكثافة شديدة الانضغاط ثم ارتدت من جديد كما لو كانت مدفوعة بقوى المرونة الداخلية ، وهكذا قد تتوالى عمليات الانضغاط والانبساط في لا نهائية المكان والزمان .

وجاموف أو جريجورى (جورج) جاموف هو أحسن أشهر علماء الفيزياء في القرن العشرين ولد في ٤ مارس عام ١٩٠٤ بأوديسا بالاتحاد السوفيتي وتخرج من جامعة لننجراد عام ١٩٢٨ . وفي تلك الجامعة التقى بالفيزيائي الشهير فريدمان صاحب نظرية التمدد الكوني الذي بات جاموف أحد أشد أنصارها والمدافعين عنها حتى وفاته عام ١٩٦٨ .

وقد انتقل الى مدينة جوتنجن في ألمانيا بعد تخرجه ووضع هناك نظريته الكمية عن النشاط الاشعاعي ثم انتقل الى كوبنهاجن حيث استمر في دراسته للفيزياء النظرية ووضع هناك ما يعرف باسم نموذج النقطة

السائلة liquid drop التي باتت فيما بعد أساسا لنظريات الانشطار والاندماج النووي . ثم اتجه بعد ذلك الى دراسة التفاعلات الحرارية النووية داخل النجوم ، وفي عام ١٩٣٤ هاجر الى الولايات المتحدة ليعمل أستاذا للفيزياء في جامعة واشنطن ، وهناك وضع نظرية البنيات الداخلية للنجوم الحمراء في عام ١٩٤٢ .

ثم طور نظرية فريدمان التي ترى أن الكون قد نشأ عن انفجار هائل حدث منذ بلايين السنين ونشر نظريته في كتاب يسمى أصل العناصر الكيميائية .

وفي عام ١٩٤٢ اتجه الى دراسة الكيمياء الحيوية فوضع نظرية عن الشفرة الجينية Genetic code وقد ثبتت صحة هذه النظرية فيما بعد ، وكان جاموف يتمتع ببصيرة علمية صائبة فرأى بحذسه أن الاشعاع الكوني الخلفي "background radiation" هو من بقايا الانفجار الكوني الكبير وقد ثبتت صحة هذا الرأي سنة ١٩٦٤ على يد العالمين أرنولد بنسياس وروبرت ولسون وكذلك ثبتت صحة نظريته عن تكوين العناصر الكيميائية ولكن شهرته الحقة جاءت في مجال تبسيط العلوم . وقد انتخب عضوا في الأكاديمية العلمية الدنماركية وأكاديمية العلوم الأمريكية تقديرا لجهوده العلمية واكتشافاته ثم اختير ليشغل كرسي الفيزياء بجامعة كولورادو حيث ظل يعمل حتى وفاته في ٢٩ أغسطس عام ١٩٦٨ .

مقدمة

الذرات ، والنجوم ، والغيوم السديمية ، و « الانثروبيا » (*) ،
والجينات هل يستطيع الانسان أن يطوى السماء ؟ ولماذا ينكمش
الصاروخ ؟ على صفحات هذا الكتاب نتناول كل هذه الموضوعات ،
وغيرها من الموضوعات التي لا تقل عنها أهمية .

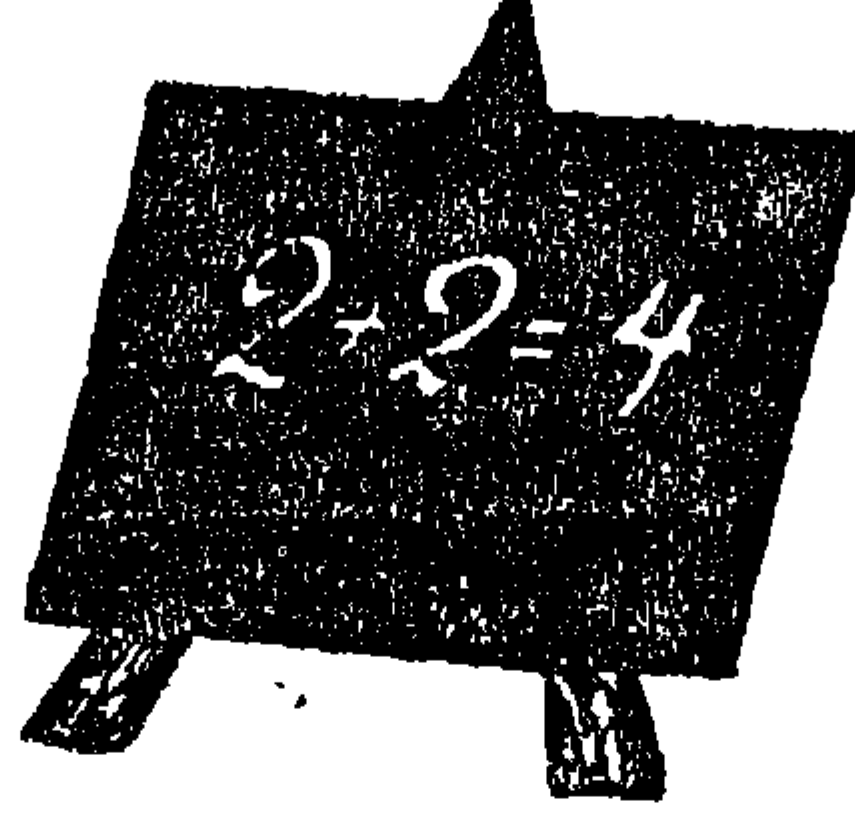
والهدف الأساسي هنا هو الجمع بين أكثر الحقائق والنظريات العلمية
اثارة حتى نعطي القارئ صورة عامة عن الكون في شتى صورته ،
المجهرية ، والمرئية وفقا لرؤية علمائنا في العصر الحديث وعملا على ذلك
لم أحاول - ولو محاولة - أن أغطي موضوعا ما من كافة جوانبه واضعا
في اعتباري أن مثل هذه المحاولة سوف تؤدي الى تأليف « موسوعة » من
عدة مجلدات . وقد راعيت ، في الوقت ذاته ، عند اختياري للموضوعات
أن أتعرض لكل أوجه المعرفة بايجاز دون اهمال شيء منها .

ثم رتب الموضوعات وفقا للأهمية ومدى الاثارة ، لا وفقا لبساطتها ،
مما أدى الى شيء من التفاوت في العرض ، فبعض الفصول سهلة لدرجة
أن يستوعبها الأطفال ، والبعض الآخر يتطلب استيعابه قدرا من التركيز
والتأمل لفهمها تماما . ومع ذلك أمل ألا يجد القارئ العادي صعوبة
شديدة في قراءة هذا الكتاب .

وأود أن أعرب عن شكري لهذا العدد الكبير من الفنانين والرسامين
الذين جاءت أعمالهم موضحة للتركيب البنائي للأشياء ، وأساسا لكثير
من الرسوم التوضيحية التي زينت هذا الكتاب (انظر الفصل الثالث

(*) مقياس للطاقة (المترجم) .

من الكتاب) . كما أدين بشكر خاص لصديقتي الصغيرة « مارينا فون نيومان » ، وهي تزعم أن معرفتها بكل شيء أكثر من معرفة والدها عالم الرياضيات الشهير ، إلا في الرياضيات طبعاً فقد أقرت بأنها لا تقل فيها عنه . وبعد أن قرأت هذا الكتاب قبل طباعته ، أخبرتنى بأن هناك أشياء كثيرة لم تفهمها فأدركت أخيراً أنه ليس موجهاً للأطفال كما كنت أظن .



الجزء الأول

اللعب بالاعداد

الفصل الأول

الأعداد الكبيرة

ما مدى قدرتك على العد ؟

هناك قصة عن اثنين من الأرستقراطيين المجريين اللذين قررا أن يلعبا لعبة يكون فيها الفوز لمن يستطيع منهما أن يذكر للآخر أكبر الأرقام وتحكى هذه القصة أن أحدهما قال « حسنا فلتبدأ أنت بذكر رقمك » . وبعد دقائق قليلة من التفكير الشديد ، ذكر الثانى أخيرا أكبر ما يعرفه من أرقام ، فقال « ثلاثة » .

والآن جاء دور الأول منهما ليعمل فكره ، بيد أن الأمر انتهى به الى الاستسلام بعد مرور ربع ساعة قائلا « أنت الفائز » .

وهذان المجريان الارستقراطيان ليسا ، بالطبع على درجة عالية جدا من الذكاء (١) ، وربما كانت هذه القصة محض افتراء خبيث قصد به الاساءة الى شعب المجر ، على أن حوارا كهذا يحتمل وقوعه بين اثنين من « الهوتنتوت » (*) وليس من المجريين . والواقع أننا نجد - والعهد على

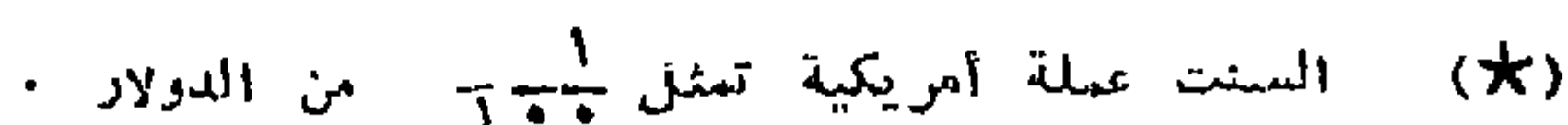
(١) ثمة قصة أخرى تؤيد هذه الحكاية فى نفس المجال وتحكى أن جماعة من المجريين الأرستقراطيين ضلوا طريقهم فى « الألب » . ويقال أن أحدهم أبرز خريطة ، وبعد وقت طويل من دراستها صاح مندهشا : « الآن عرفت أين مكاننا ! » فسأل الآخرون « أين ؟ » ، قال : « هل ترون ذلك الجبل الضخم ؟ اننا فوق قمته تماما » .

(*) شعب جنوب افريقى (المترجم) .

وفى هذا العصر أصبحت فكرة كتابة أكبر عدد نريده أمراً مألوفاً لدينا ، سواء كان هذا الرقم يعبر عن نفقات الحرب بالسنت (*) أو المسافات بين النجوم بالبوصة ، وذلك ببساطة عن طريق كتابة عدد كاف من الأصفار على يمين رقم معين . وبمقدورك إضافة ما تشاء من الأصفار حتى تكل يدك ، وسوف تحصل حتى قبل أن تدرك ذلك على عدد أكبر من اجمالي عدد ذرات الكون (٢) . وهو بالمناسبة :

وتستطيع كتابة نفس العدد في صيغة مختصرة كالتالى : ٧٤١٠×٣
والعدد الصغير المكتوب هنا أعلى العشرة ليسار يشير الى عدد الأصفار
التي ينبغي كتابتها ، أو بمعنى آخر فان العدد (٣) يجب أن يضرب
فى (١٠) أربع وسبعين مرة .

(★★)



(٢) القياس وفقا لأبعد مسافة يمكن النفاذ اليها بواسطة أقوى تلسكوب .

(★★) لاحظ تكرار الرمز الأول ٨ مرات والرمز الثاني ٧ مرات والرمز الثالث

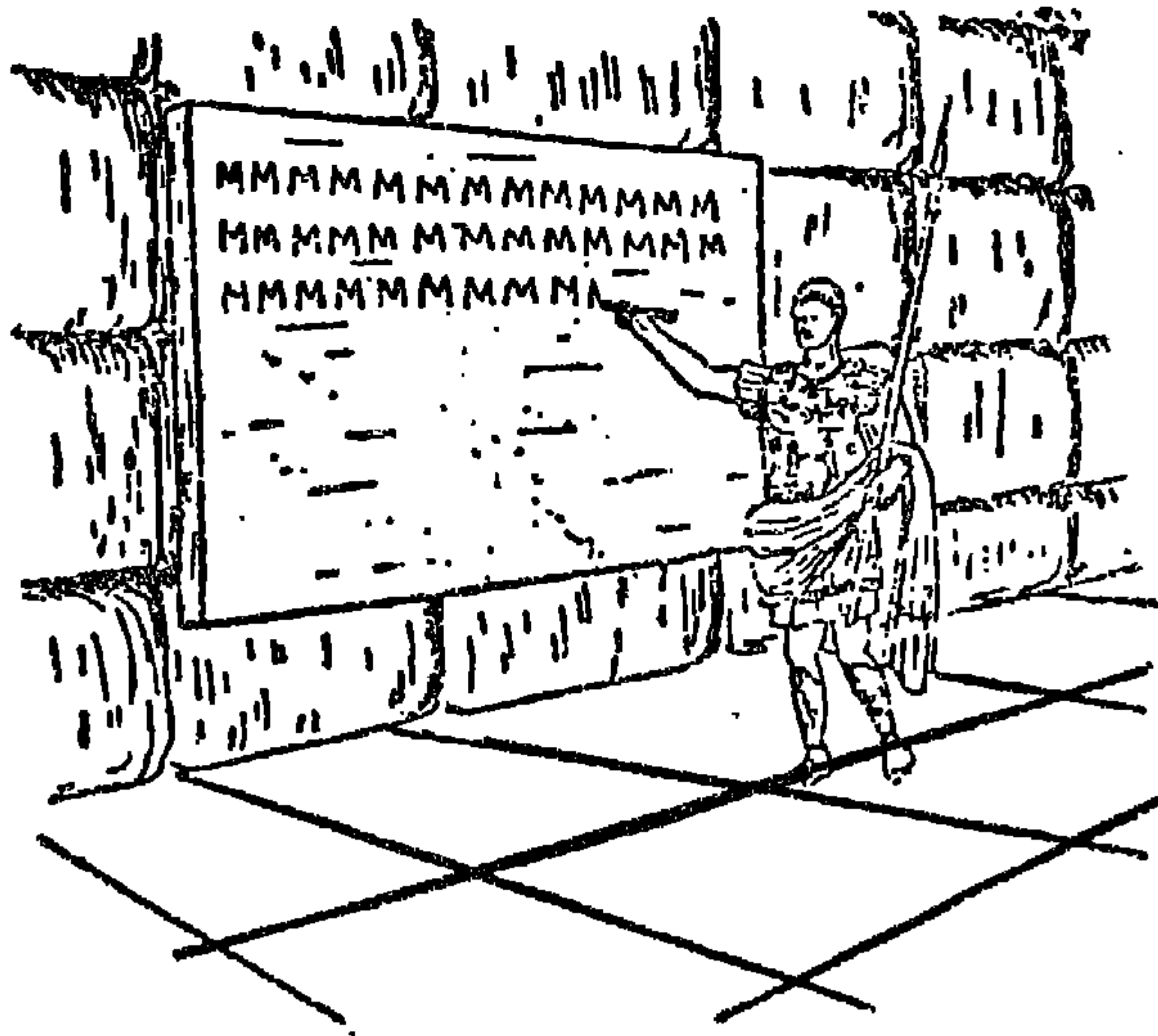
٣ مرات والرابع مرتين للتعبير عن عدد ٨٧٣٢ (المترجم) .

في حين كان الكاتب في ديوان قيصر يدون هذا الرقم هكذا :

MLMMMMMDCCXXXII

ولابد أن الرقم الثاني مألوف لديك ، حيث أن الأعداد الرومانية لا تزال تستخدم أحيانا للإشارة إلى تسلسل المجلدات أو الفصول في كتاب ما ، أو عند التاريخ لحدث هام على لوحة تذكارية فخمة . ومع ذلك فإن حاجة القدماء إلى الأعداد لم تكن تتجاوز بضعة آلاف ، ولذا فإن الرموز الدالة على وحدات عشرية أكبر لم تكن موجودة ولو طلب من أحد الرومان أن يكتب رقم « مليون » لوقع في حرج شديد مهما كانت كفاءته . ولما استطاع أن يفعل شيئاً أكثر من كتابة ألف من الرمز M على التوالي ، الأمر الذي يتطلب عدة ساعات من العمل الشاق (شكل ١) .

وبالنسبة للقدماء كانت الأعداد الهائلة مثل ، عدد نجوم السماء ، أو عدد أسماك البحار ، أو ذرات الرمل على الشاطئ أعداداً « لا تحصى » تماماً كما ينظر الهوتنتوت إلى رقم « خمسة » ، الذي يصبح عنده ببساطة « كثير » ! .



(شكل رقم ١)

شكل (١) : روماني قديم من عصر أغسطس قيصر يحاول كتابة « مليون بالأعداد الرومانية » . والمساحة المتاحة له على الحائط السبوري لا تكاد تكفي لكتابة « مائة ألف » .

ولقد احتاج الأمر الى عقل جبار مثل « أرشميدس » أحد علماء القرن الثالث المجيدين ، لكي يوضح لنا امكانية كتابة أعداد كبيرة فصلا . وفي هذا قال أرشميدس في رسالته المسماة Psammites أو « حاسب الرمال » :

« هناك البعض ممن يعتقدون أن عدد ذرات الرمال لا نهائي في كثرته ولا أعنى بذلك مجرد الرمال الموجودة في سيراقوسة (*) وصقلية فحسب ، بل عدد ذرات الرمال في أي بقعة كانت من بقاع الأرض مجتمعة ، معمورة كانت أو غير معمورة . كما أن هناك البعض ممن لا ينظرون الى هذا العدد باعتباره لا نهائيا ولكنهم مع ذلك يظنون أنه ليس في الامكان أن نحدد عددا يفوق في ضخامته عدد الرمال على الأرض . ويتضح لنا أن الذين يؤمنون بهذا الرأي لو تخيلوا كتلة من الرمال - في صورة أخرى - تبلغ في ضخامتها ضخامة الأرض بما فيها من بحار وفجوات مملوءة بالرمال حتى ارتفاع أعلى الجبال لظلوا على يقينهم بأن رقما ما لا يمكن أن يزيد عن ذلك الرقم المعبر عن ذرات الرمال في هذه الكتلة المتراكمة . ولكنني سأحاول أن أوضح أنه من بين الأرقام التي سأذكرها ، هناك أرقام تزيد عن عدد ذرات الرمال التي يمكن أن تملأ كتلة الأرض بالشكل الذي وصفته بل هناك أيضا أرقام تساوي عدد الرمال التي يمكن بها حشسو الكون بأكمله . »

وتمائل الطريقة التي اتبعها « أرشميدس » في كتابة الأرقام في هذا البحث الشهير الطريقة التي نتبعها في كتابة أكبر الأعداد في العلوم الحديثة . وقد بدأ بأكبر رقم عرفه علم الحساب الاغريقي آنذاك وهو « ميرياد » أو ١٠.٠٠٠ ، ثم استحدث رقما جديدا وهو « ميرياد ميرياد » (١٠٠ مليون) وسماه « أوكتاد » أو وحدة من الرتبة الثانية . أما « الاوكتاد أوكتاد » أو (١٠ ١٦) فيطلق عليه وحدة من الرتبة الثالثة ، أو « الاوكتاد أوكتاد أوكتاد » فوحدة من الرتبة الرابعة ٠٠٠ الف .

وربما كان موضوع كتابة الأعداد الكبيرة أهون بكثير من أن نفرد له عدة صفحات من كتاب ، ولكن التوصل الى طريقة لكتابة هذه الأرقام على عهد أرشميدس كان اكتشافا عظيما وخطوة هامة نحو التقدم في علم الرياضيات .

(*) مدينة تقع في صقلية (المترجم) .

وحتى يمكن حساب العدد المعبّر عن عدد حبات الرمال اللازمة ملء الكون بأكمله ، كان على أرشميدس أن يعرف حجم هذا الكون .

وقد ساد الاعتقاد في ذلك العصر أن الكون مغلف بمجال بللورى تتدلى منه النجوم . وقدر عالم الفلك الشهير المعاصر لذلك الوقت (ارسطرخس الساموسى (*)) المسافة من الأرض الى الخط المحيط بالمجال الكونى بـ ١٠١٠ ستاديوم (٣) أو حوالى ٩١٠ أميال وبمقارنة حجم هذا المجال بحجم ذرة الرمل أجرى أرشميدس سلسلة من العمليات الحسابية تكفى لاصابة طالب فى المرحلة الثانوية بالكوابيس الليلية ، وأخيرا وصل الى هذه النتيجة :

« لقد ثبت بالدليل أن عدد ذرات الرمل التى يمكن استيعابها فى فضاء مساو لحجم الكون المنظور وفق تقدير ارسطرخس ، لا يزيد على ألف ميرياد من وحدات الرتبة الثامنة » (٤) .

وربما لاحظنا هنا أن تقدير أرشميدس لنصف قطر الكون كان أقل من تقدير علمائنا المحدثين . فان مسافة ٩١٠ أميال لا تتعدى المسافة بين الأرض وكوكب زحل فى مجموعتنا الشمسية الا بقليل . وكما سوف نرى فيما بعد ، فقد وصلت استكشافات الكون بالاستعانة بالتلسكوب الى مسافة ٥ × ٢١١٠ . وبذا فان عدد حبات الرمال اللازمة ملء الكون المنظور سوف تزيد عن : ١٠٠١٠ (أى « ١ » وعلى يمينه ١٠٠ صفر) وهذا الرقم يزيد بالطبع عن العدد الكلى للذرات فى الكون ، وهو ٣ × ٧٤١٠ كما ذكرنا فى مستهل هذا الفصل ، ولكن ينبغى ألا يغيب عنا أن الكون ليس مشحونا بالذرات ، فالحقيقة أن كل متر مكعب من الفضاء يحتوى فى المتوسط على ذرة واحدة فقط تقريبا .

(*) من مواطنى جزيرة « ساموس » الواقعة فى بحر ايجه (المترجم) .

(٣) يساوى الـ « ستاديوم » الاعريقى ٦٠٦ من الاقدام أو ١٨٨ مترا

(٤) أى وفقا لمفهومنا :	ألف ميرياد	الدرجة الثانية
(١٠ مليون)	× (١٠٠ مليون)	×
الدرجة الثالثة	الدرجة الرابعة	الدرجة الخامسة
× (١٠٠ مليون)	× (١٠٠ مليون)	× (١٠٠ مليون)
الدرجة السادسة	الدرجة السابعة	الدرجة الثامنة
× (١٠٠ مليون)	× (١٠٠ مليون)	× (١٠٠ مليون)

أو ببساطة ٦٣١٠ . (أى « ١ » و ٦٣ صفرا على يمينها)

على أننا فى غنى تماما عن هذه المبالغة ، وحشسو الكون بالرمال
للحصول على أعداد كبيرة جدا . والواقع أن هذه الأعداد قد تطفسو على
السطح عند معالجة أمور تبدو لأول وهلة وكأنها مسائل غاية فى البساطة ،
لا نتوقع منها مخطئا ناتجا يزيد عن عشرة آلاف .

وقد كان « شيرهام » أحد ملوك الهند من بين ضحايا الأرقام الخادعة
اذ تقول احدى الأساطير القديمة ، انه أراد أن يكافىء « سيسا بن ناهر »
وزيره الأكبر على ابتكاره للعبة الشطرنج وتقديرها اليه فبدا وزيره الأكبر
غاية فى القناعة ! اذ قال له وهو راجع بين يديه « مولاي ! مر لى بحبة قمح
فى المربع الأول من رقعة الشطرنج وحبتين فى المربع الثانى ، ثم أربع حبات
فى الثالث ، ثم ثمان فى الرابع . وضاعف الرقم يا مولاي فى كل مربع
قال واعطنى ما يكفى أربعة وستين مربع .

قال الملك ، وقد سره هذا الاقتراح ظنا منه أنه لن يكلفه الا قليلا
» لقد سألت أمرا يسيرا يا خادمى المخلص وما كنت لأخيى رجاءك .
ثم أمر بجوال من القمح ، الا أنه عندما بدأ بحبة فى المربع الأول فائنتين
فى الثانى ، ثم أربع فى الثالث وهلم جره . . . فرغ الجوال قبل المربع
العشرين فأحضر الخدم مزيدا من الأجولة ، لكن الرقم المطلوب فى كل
مربع لاحق أخذ فى التزايد بسرعة رهيبة حتى بدا واضحا بعد قليل أن
محصول القمح الهندى بأكمله لن يسعف الملك فى تنفيذ وعده للموزير .



(شكل رقم ٢)

شكل (٢) : سيسا بن ظاهر الوزير الأكبر والرياضى الماهر يطلب المكافأة
من « شيرهام » ملك الهند .

وأنه يلزم لذلك عدد ١٨٤٤٦٧٤٤٠٧٣٧٠٩٥٥١٦١٥ (٥) حبة قمح

وهذا الرقم ، على ضخامته أقل من عدد ذرات الكون ولكنه رقم كبير على أية حال . وبفرض أن البوشل (*) يحتوى على حوالى ٥ ملايين قمحة نجد أن المرء بحاجة الى حوالى 4×1210 بوشل ليلبى مطلب سيسيما . ولما كان متوسط انتاج القمح فى العالم 2×910 بوشل سنويا فان الكمية التى طلبها الوزير الأكبر تعادل الانتاج العالمى من القمح لفترة ألفى عام تقريبا .

وهكذا وجد الملك شيرهام نفسه غارقا فى دينه للوزير ، وتم يكن بمقدوره الا أن يواجه طلباته الملحة باستمرار أو يضرب عنقه . وأغلب الظن عندى أنه اختار الحل الثانى .

وهناك قصة أخرى الدور الرئيسى فيها لعدد كبير ، وهى من الهند أيضا ، وتتعلق بمشكلة « نهاية العالم » ، اذ يروى (بول Ball (٦) مؤرخ « عجائب الأرقام » ، ما يلى :

فى معبد « بنارس » العظيم ، يوجد أسفل القبة التى تحدد مركز العالم صحن نحاسى به ثلاث ابر من الماس ، ارتفاع كل منها ذراع (الذراع الواحد حوالى ٢٠ بوصة) ، وسمكها سمك جسد النحلة تقريبا . وفى بدء الخليقة وضع الاله على احدى هذه الابر أربعة وستين قرصا من الذهب الخالص ، استقر أكبرها على الصحن النحاسى ، بحيث تعساوه بقية الأقراص الأصغر فالأصغر وهكذا حتى نهاية الابرة ، فكان ما يعرف « ببرج براهما » . ويقوم الكاهن المكلف بالخدمة بنقل هذه الأقراص من ابرة لأخرى ليلا نهارا نزولا على تعاليم براهما الخالدة الراسخة ، والتى

(٥) عدد حبات القمح التى طلبها هذا الوزير الذكى يمكن وضعه على الصورة الآتية : $1 + 2 + 2^2 + 3^2 + \dots + 64^2$. وهو تتابع من الأرقام يزيد كل حد فيه عن السابق بنفس القدر وباستمرار (الأساس فى هذه الحالة هو ٢) . وهذا التتابع يعرف بالمتوالية الهندسية ويمكن إيجاد مجموع الحدود فيها برفع الأساس الثابت (وهو ٢ هنا) الى الاس الذى يمثل عدد حدود المتوالية (٦٤) مع طرح رقم الحد الأول (١) ثم قسمة الناتج السابق على الأساس ناقصا (١) وهذا يوضع على الصورة الآتية :

$$\frac{1 - 64^2}{1 - 2} = 1 - 2 \times 64^2$$

ويمكن كتابة الرقم على الوجه التالى ١٨٤٤٦٧٤٤٠٧٣٧٠٩٥٥١٦١٥

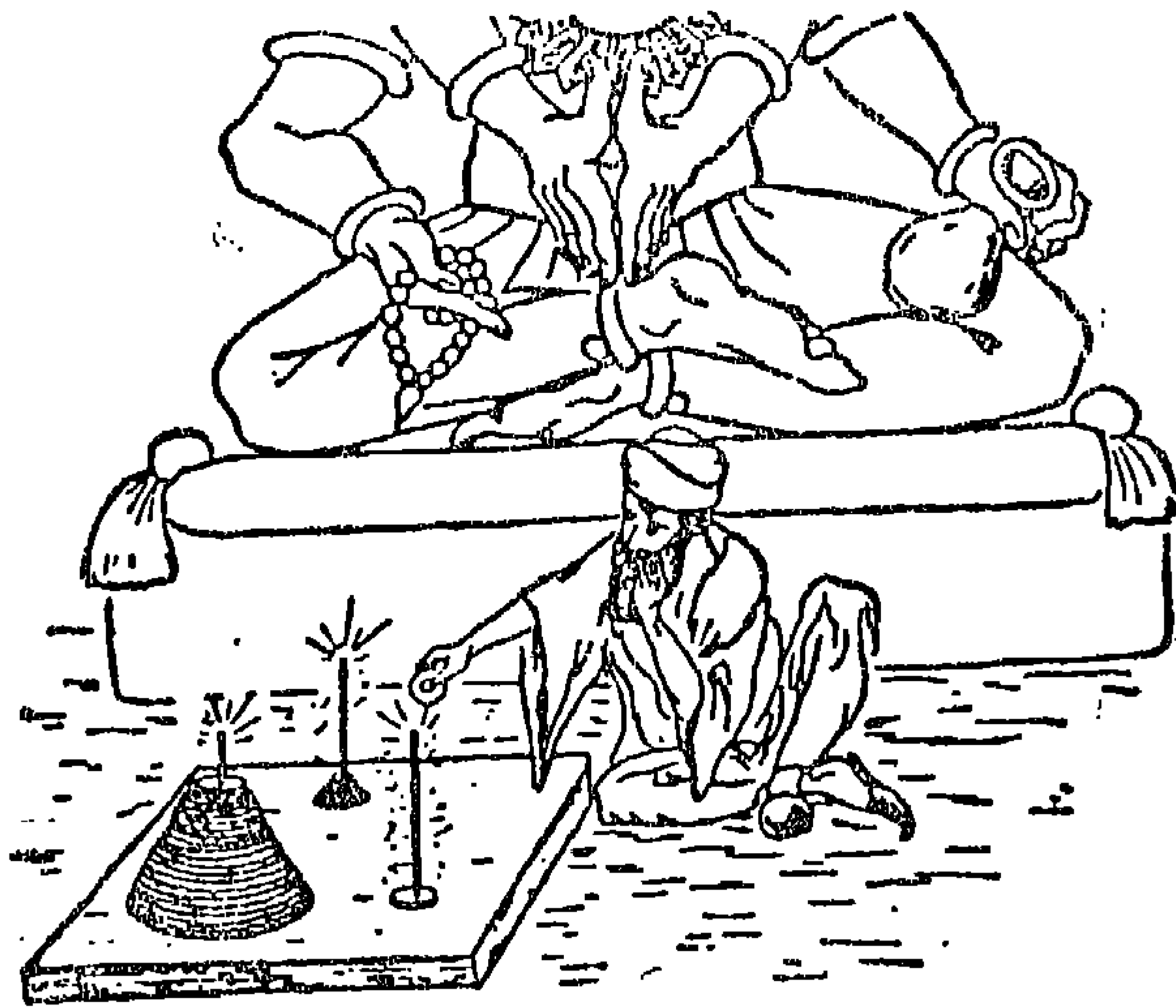
(*) مكىال للحبوب يساوى ٣٠٢٨٢٤٨ لترا فى الولايات المتحدة (المترجم)

(٦) W. W. R. Ball, Mathematical Recreations and Essay; (The Macmillan Co., New York, 1939).

تقضى بأن يقوم الكاهن بنقل قرص واحد فى كل مرة ، وعليه أن يرتب هذه الأقراص بنفس النظام الأكبر فالأصغر دون اخلال بهذه القاعدة . وعندما يتم نقل الأربعة وستين قرصا بالطريقة السابقة من الابرّة الأصلية حيث وضعها الاله فى بداية الخليقة الى ابرة أخرى فان البرج والمعبد ومعابد البراهمة الأخرى ستصبح أثرا بعد عين ، ويفنى العالم اثر صاعقة مدوية .

ويعبر شكل (٣) عما أوضحناه سابقا من طقوس فيما عدا أن عدد الأقراص فيه أقل ، ويمكنك أن تجرب هذا العمل بنفسك باستخدام أقراص من الورق المقوى بدلا من الذهب ، ومسامير حديدية بدلا من الماس الذى نجده فى الاسطورة الهندية .

ان معرفة القاعدة العامة التى يتم على أساسها نقل الأقراص ليست بالأمر الصعب ، فاذا ما عرفت ما ستدرك أن نقل كل قرص يتطلب ضعفى عدد النقلات فى القرص السابق الأكبر منه ، فالقرص الأول يتطلب نقله واحدة ، ولكن العدد يتضاعف بعد ذلك فى كل قرص تال ، وبذلك عند الوصول الى آخر قرص (رقم ٦٤) نجد أن النقلات اللازمة تساوى عدد



(شكل رقم ٣)

«شكل رقم (٣) : أحد الكهّان وهو مشغول بمشكلة « نهاية العالم » ونرى خلفه تمثالا ضخما لبراهما . وعدد الأقراص المبين بالشكل يقل عن ٦٤ قرصا وذلك لصعوبة رسم هذا العدد منها .

حبات القمح التي طلبها سيسا بن ظاهر (٧) .

والآن ما المدة اللازمة لنقل الأربعة والستين قرصا في برج برانسا من ابرة الى أخرى ؟ لنفرض أن الكهنة قد مارسوا عملهم ليل نهار ، دون اجازات أو عطلات ، وأن كل نقلة تستغرق ثانية .. ولما كانت السنة تساوي ٣١٥٥٨٠٠٠ ثانية فان الزمن المطلوب لانجاز المهمة لن يقل عن ثمانية وخمسين بليوناً من الأعوام .

ومن المشوق أن نقارن بين عمر الكون وفقا لتلك الاسطورة وتقديرات علمائنا في هذا العصر . وطبقا للنظرية المعاصرة عن نشأة الكون ، أي النجوم ، والشمس ، والكواكب بما فيها الأرض التي نعيش عليها ، فقد نشأ كل هذا منذ 910×3 عاما عن كتل غير محددة المعالم . ونحن نعرف أيضا أن « الوقود الذري » الذي يشحن النجوم بالطاقة ومنها شمسنا سوف ينفد بعد 1010 أو 105×1010 من الأعوام انظر فصل « أيام الخلق » وهكذا نرى أن اجمالي عمر الكون يقل بالتأكيد عن 1010×2 من الأعوام فأين هذا من عمر الكون الذي تحدده الاسطورة وهو 1310×8 ، ولكنها على أية حال مجرد أسطورة .

وربما كان أعلى الأرقام التي دونت ذلك الذي ورد في « مشكلة السطر المطبوع » الشهيرة . ولنفرض أننا صنعنا آلة طباعة تعمل دون توقف سطرًا بعد آخر ، وهي في ذلك تتعامل مع عدد من الحروف الأبجدية والرموز الطبيعية بشكل أتوماتيكي .

ان هذه الآلة ستتكون من عدد من الأقراص المنفصلة التي تحتوى حافتها الخارجية على كافة الرموز والحروف ، وتترتب هذه الأقراص مع بعضها كما في أقراص عداد السيارات (سواء بالأميال أو الكيلومترات) بحيث تؤدي دورة كاملة في قرص الى حركة واحدة فيما يليه . وتتم الطباعة بالضغط آليا على الورق عند خروجه من لفته (رول) مع كل حركة . ويمكن اعداد هذه الآلة دون صعوبة جمة ونرى في شكل (٤) رسما ايضاحيا لها .

(٧) لو كان ما لدينا لا يزيد عن سبعة أقراص فان عدد الحركات المطلوبة هو :

$$1 + 12 + 22 + 32 \dots \text{ الخ } 100 \text{ أو } 1 - 2^7 = 1 - 128 = 127$$

واذا نقلت الأقراص بسرعة ودون خطأ فان الأمر يستغرق منك حوالى ساعة لاتمام المهمة ومع ٦٤ قرصا فان العدد الكلى للحركات المطلوبة هو :

$$1 - 2^{12} = 1 - 4096 = 4095$$

وهو نفس عدد حبات القمح التي طلبها سيسا بن ظاهر .

ولكن مهلا هناك أيضا كل ما كتبه القواد حتى على الأوراق التي ألقاها
بنفسه فى سلة مهملاته (*) !! .

والحقيقة أن مثل هذه المطبعة سوف تطبع لنا كل ما كتب على الإطلاق
فى تاريخ البشرية منذ أن عرفت الكتابة ، كل سطر من نشر أو شعر ،
كل مقالة تصدرت جريدة أو اعلان ظهر فيها ، وكل مجلد ثقيل من
الأبحاث العلمية ، وكل خطاب كتبه عاشق أو عاشقة ، وكل ملاحظة حوتها
ورقة مكتوبة لمحصل الكهرباء أو الغاز . . .

بل ان الماكينة سوف تطبع كل شئ ينتظر حدوثه فى القرون
القادمة . فعلى « الرول » الخارج منها سوف نجد شعر العصر الجاهلى ،
والاكتشافات العلمية فى المستقبل وتراجم الكلمات التى ستلقى فى الدورة
رقم ٥٠٠ للكونجرس الأمريكى ، وسردا لأخبار حوادث الصدام بين
الكواكب فى عام ٢٣٤٤ . وعلى هذا الورق سنجد صفحات وصفحات من
القصص القصيرة ، والروايات المملولة ، التى لم تخطها يد انسان بعد ،
وما على الناشرين الذين يحتفظون بهذه الماكينات فى بدروم مطابعهم الا أن
يختاروا وينتقوا ما يصلح للنشر من بين التفاهات ، وهو أمر ليس بجديد
عليهم على كل حال .

فلم لا يفعلون ذلك !!! .

حسن ، هيا نحصى عدد السطور التى يمكن للماكينة أن تطبعها
حتى نحصل على جميع السطور التى يمكن طباعتها من بين الحروف الأبجدية
والرموز ، هناك ثمانية وعشرون حرفا فى الأبجدية العربية ، وعشرة أرقام
(١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ ، ١٠) (**) ، واثنى عشرة علامة (الفراغ ،
النقطة ، الفاصلة ، النقطتان ، الفاصلة المنقوطة ، وعلامة الاستفهام ،
وعلمة التعجب ، والشرطة ، وعلامات التنصيص ، والأقواس ، والشرطة
المائلة ، والحواسر [أى ٥٠ رمزا . ولنفرض أيضا بالآلة ٦٥ عجلة
تقابل ٦٥ مكانا (حرف أو لقيم أو علامة) باعتبارها متوسطا لسطر مطبعي .
وقد يبدأ السطر بأى علامة وهناك نجد لدينا ٥٠ احتمالا . ولكل واحد
من هذه الاحتمالات هناك خمسون احتمالا بالنسبة للعلامة أو الحرف الذى
يأتى بعده أى $50 \times 50 = 2500$ احتمال ويأتى الحرف الذى يليه فنجد

(*) فى الأصل شكسبير وهو كاتب مسرحى وشاعر انجليزى معروف . ولكنى
استبدلته بالعقاد أولا ليناسب المثال بعد ترجمته وثانيا لتنوع وثراء إنتاجه ، رحمه الله .
(**) الواقع أن هذه الأرقام ليست عربية بل هندية ، والأرقام العربية هى التى
يظن الكثيرون الآن (عدا أهل المغرب العربى) انها افرنجية وهى :
(..... 4 — 3 — 2 — 1)

أيضا خمسين احتمالا وهكذا في كل حرف يليه . ويمكن بيان عدد التوليفات الممكنة في السطر كله كما يلي :

$$\begin{array}{r}
 \text{٦٥ مرة} \\
 \hline
 ٥٠ \times ٥٠ \times ٥٠ \times ٥٠ \times ٥٠ \\
 ٦٥٥٠ \quad \text{أو} \\
 \hline
 ١١٠١٠ \quad \text{أى ما يساوى}
 \end{array}$$

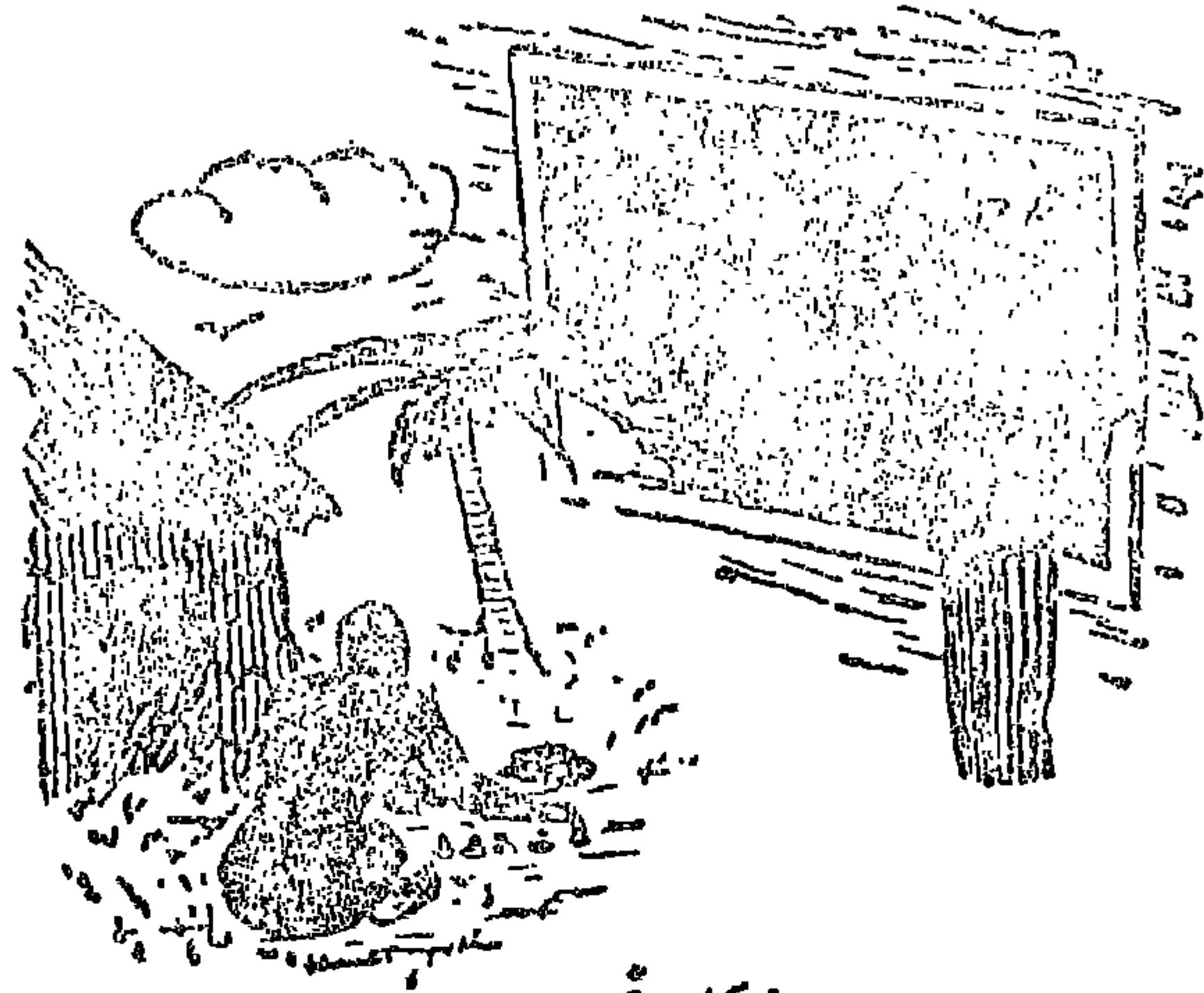
ولكى تشعر بهول هذا الرقم ، افترض أن كل ذرة في الكون تمثل آلة طباعة منفصلة عن الأخرى ، فيكون لدينا ٧٤١٠×٣ آلة طباعة تعمل في وقت واحد . وزد على ذلك الافتراض بأن هذه الماكينات لم تتوقف عن العمل منذ خلق الكون أى منذ ٩١٠×٣ سنة ، أو ١٧١٠ ثانية على أن تطبع بسرعة الاهتزازات الذرية أى ١٥١٠ سطرا في الثانية ، فيكون لدينا الآن : $٧٤١٠ \times ٣ \times ١٧١٠ \times ١٥١٠ = ١٠٦١٠ \times ٣$ سطر مطبعي وهذا لا يكاد يفى $\frac{1}{3}$ في المائة من الرقم الكلى المطلوب . وزد على ذلك أننا بحاجة الى دهر طويل للاختيار بين هذه السطور المطبعية الأتوماتيكية .

٢ - كيف تعد المالانهايات ؟

تعرضنا فيما سبق لأعداد أغلبها رهيب جدا . ولكن على الرغم من أن هذه الأعداد مثل حبات قمح سيسا بن ظاهر أضخم من قدرتنا على التصور الا أنها قابلة للحساب ويمكن للمرء تدوينها عن آخرها لو أعطى الوقت الكافى . على أن هناك فعلا أعدادا لا نهائية تزيد عن أى عدد قابل للتدوين مهما كان الزمن المتاح . ومن ثم فإن عدد « جميع الأعداد » يعتبر عددا لانهائيا ، وكذا « عدد النقاط الهندسية على خط مستقيم » ، فهل يمكن وصف هذه الأعداد الا بأنها لا نهائية ، أو هل نستطيع مثلا أن نقارن بين عددين لا نهائيين لنرى أيهما أكبر من الآخر ؟

هل يعقل أن نسأل : أيما أكبر ؟ عدد الأرقام كلها أم عدد النقاط الهندسية الواقعة على خط مستقيم ؟ لقد كان « جورج كانتور G. Cantor الرياضى الشهير الذى يدعى بحق مؤسس علم « الحساب اللانهائى » أول من تعرض لهذه القضايا التى تبدو لأول وهلة ضربا من ضروب الخيال .

ولو أردنا أن نتكلم عن أكبر الأعداد اللانهائية وأصغرها لواجهتنا مشكلة المقارنة بين أعداد ليس بمقدورنا حسابها أو كتابتها ، وهى لا تختلف تقريبا من هذه الناحية عن محاولة أحد « الهوتنتوت » لاحصاء محتويات الصندوق الذى يحتوى على ثروته ، أو رغبته فى معرفة



(شكل رقم ٥)

شكل رقم (٥) مواطن افريقى يتادن مع البروفيسور ج. كانتور ارقاما تفوق قدرتها على العدد .

ان كان عدد خرزات الزجاج التى يملكها أكبر من عدد العملات النحاسية التى بحوزته أم لا . ولكن الهوتننوت لا يستطيعون العدد لأكثر من ثلاثة كما قد تذكر . اذن هل سيتخلى هذا الافريقى عن كافة محاولاته للمقارنة بين عدد خرزات الزجاج وعدد العملات النحاسية لأنه لا يستطيع عددهما ؟ والجواب هو بالطبع لا . فلو كان على قدر كاف من الذكاء فسوف يجرى المقارنة بينهما واحدة بواحدة . ولـسـوف يضع خرزة فى مقابل أولى عملاته ، ثم خرزة أخرى أمام العملة الثانية وهكذا . . . فاذا ما نفذ الحرز فى الوقت الذى تبقى فيه بعض العملات ، فسيعرف أن العملات المملوكة له أكبر عددا من الحرز والعكس صحيح . واذا نفذ الاثنان معا فسيعرف أن عدد الحرز مساو لعدد العملات .

وهذه الطريقة هى نفس الأسلوب الذى اقترحه كانتور فى مقارنة عددين لا نهائيين ، فاذا تمكنا من المزاوجة بين مفردات مجموعتين لا نهائيتين بحيث نضع أمام كل وحدة فى هذه المجموعة وحدة أخرى فى المجموعة الثانية بحيث لا تبقى وحدة مفردة لدل ذلك على تساويهما . واذا لم نتمكن من ذلك بحيث تبقى بعض وحدات المجموعة الأولى دون مقابل فى الثانية كان ذلك دليلا على أن هذه المجموعة أكبر من الأخرى ، أو يمكن أن نقول أقوى فى لا نهائيتها من المجموعة الأخرى .

وهذه بالتأكيد أقرب القواعد الى العقل ، بل هى فى الواقع القاعدة الوحيدة الصالحة للتطبيق عند المقارنة بين كميتين لانهايتين ، على أننا

يجب أن نعد أنفسنا لبعض المفاجآت عند البدء في تطبيقها بالفعل ، خذ على ذلك مثلا المقارنة بين الأعداد الفردية وكل الأعداد الزوجية . سوف تشعر ، بداهة بالطبع ، أن عدد الأرقام الفردية يساوى تماما عدد الأرقام الزوجية ، وهذا يتفق تماما مع القاعدة التى سبق ذكرها ، إذ أن مقابلة الأرقام بعضها يمكن إجراؤها كما يلي :

١	٣	٥	٧	٩	١١	١٣	١٥	١٧	١٩	... الخ .
⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	
٢	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	٢٠	... الخ .

فهناك رقم فردى لكل رقم زوجى فى الجدول والعكس بالعكس ، إذن فلا نهائية الأرقام الفردية تتساوى مع لا نهائية الأرقام الزوجية والحق أن هذه النتيجة تبدو منطقية تماما وواضحة .

ولكن تمهل دقيقة ! . أى العددين أكبر فى اعتقادك ؟ :
عدد الأرقام الزوجية والفردية معا أم عدد الأرقام الزوجية وحدهما ؟
بالطبع سوف نقول ان عدد الأرقام الزوجية والفردية أكبر ، إذ أنه يتضمن جميع الأعداد الزوجية بالإضافة الى الفردية .

ولكن الأمر يختلف عما تعتقد ، ولكى تحصل على النتيجة الصحيحة عليك أن تطبق القاعدة السابقة للمقارنة بين مجموعتين لا نهائيتين حدا - بحد فاذا ما استخدمتها ، وجدت - ولسوف يدهشك ذلك - أن ما تعتقده غير صحيح فالحقيقة أن جدول المقارنة ، حد مقابل حد ، بين كل الأعداد من ناحية والأعداد الزوجية من ناحية أخرى سوف يتمخض عن التالى :

١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	١٠٠٠	... الخ .
⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	⇕	
٢	٤	٦	٨	١٠	١٢	١٤	١٦	١٨	١٠٠٠	... الخ .

وفقا لقاعدتنا فى المقارنة ، نحن لا محالة قائلون ان لا نهائية الأرقام الزوجية تتساوى تماما مع لا نهائية كل الأرقام . وبالطبع يبدو ذلك متناقضا ، ذلك أن الأعداد الزوجية لا تمثل الا جزءا من جميع الأعداد ولكن علينا أن نتذكر أننا نتعامل مع الأعداد اللانهائية ، ولا مفر لنا من أن نعد أنفسنا لمواجهة خواص شاذة .

فصدق أو لا تصدق فى عالم المالا نهائية قد يتساوى الجزء مع الكل ؟؟
وخير ما يوضح ذلك ، هذا المثال المأخوذ مما روى عن الرياضى الألمانى

الشهير « دافيد هيلبرت David Hilbert » الذى عالج هذه الخاصية للأرقام اللانهائية فى احدى محاضراته (٨) مستخدما المثال الآتى :

(لتخيل فندقا به عدد محدد من الغرف ، ولنفترض أن كافة هذه الغرف مشغولة • ثم يصل نزيل جديد ويطلب غرفة فيرد الموظف قائلا : « عذرا ، فإن كافة الغرف مشغولة » • والآن دعونا نتصور فندقا آخر به عدد لا نهائى من الغرف وهى مشغولة بالكامل أيضا ، ويصل نزيل جديد يطلب حجرا ، سيرد الموظف « أهلا بك » • ثم ينقل الشخص الذى كان يحتل غرفة رقم ن١ الى غرفة رقم ن٢ ، وينقل الأخير الى غرفة ن٣ ، ونزيل ن٣ الى ن٤ وهلم جرة ، ثم ينزل النزيل الجديد فى الغرفة ن١ التى تصبح خالية نتيجة لهذه التنقلات والآن لتصور فندقا به عدد لا نهائى من الحجرات المشغولة ، وعدد لا نهائى من النزلاء الجدد الذين يأتون طالبين الإقامة فى الفندق ، وسوف يرد الموظف « بالطبع أيها السادة نحن فى خدمتكم ، دقيقة واحدة » • ثم ينقل نزيل الغرفة ن١ الى ن٢ ، ونزيل ن٢ الى ن٣ ، و ن٣ الى ن٤ وهكذا دواليك • والآن أصبحت كافة الغرف ذات الأرقام الفردية خالية ، ويمكن بذلك اعطاء جميع النزلاء غرفا فى الفندق بسهولة •

حسن •• قد يصعب علينا أن نتخيل هذه الظروف التى وردت فى محاضرة هيلبرت حتى فى حكايات « ألف ليلة وليلة » ، ولكن هذا يفيد بالتأكيد فى ايضاح الفكرة التى مؤداها أنه عندما نتعامل مع أعداد لا نهائية ، فاننا نواجه خواصا تشذ نوعا عن الخواص المعتادة فى الرياضيات العادية •

وباتباع قاعدة « كانتور » (Cantor) نستطيع أيضا أن نبرهن على أن عدد الكسور الاعتيادية مثل $\frac{3}{4}$ ، $\frac{5}{8}$ يتساوى مع عدد الأرقام الصحيحة • والحقيقة أنه بمقدورنا ترتيب كافة الكسور الاعتيادية فى صف وفقا للقاعدة الآتية :

« فى البداية اكتب الكسور التى يساوى مجموع البسط والمقام فيها رقم ٢ ، ولن تجد الا كسرا واحدا من هذا النوع وهو بالتحديد : $\frac{1}{1}$ ثم اكتب الكسور التى يكون مجموع البسط والمقام فيها ٣ وسوف تجد كسرين هما : $\frac{1}{2}$ ، $\frac{2}{1}$ ثم الكسور التى مجموع البسط والمقام فيها يساوى ٤ وهى $\frac{1}{3}$ ، $\frac{2}{2}$ ، $\frac{3}{1}$ وهكذا • واتباع هذا الاجراء ستجد

(٨) نقلا عن « المجموعة الكاملة لقصص هيلبرت » وهو عمل لم يكتب له أن يرى النور وان كانت النص المتضمنة فيه متداولة على نطاق واسع • (من تأليف ر. كورانت) •

وتابعاً لا نهائياً من الكسور يحتوى على أى كسر يمكن تصوره (شكل ٥) ،
والآن اكتب فوق هذه الكسور متوالية من الأعداد الصحيحة طبقاً ، لقاعدة
حد مقابل حد للمقارنة بين لا نهائية الكسور ولا نهائية الأعداد الصحيحة .
وستجد أنهما متساويان .

وربما قلت « هذا شيء لطيف جدا ، ولكن أليس معنى ذلك أن جميع
اللانهايات متساوية مع بعضها البعض ؟ وإذا كان الأمر كذلك ،
فما جدوى المقارنة إذن ؟ » .

كلا فالأمر ليس كذلك ، فإذا تعرضنا للسؤال الذى أوردناه من قبل فى هذا الفصل ، عن عدد النقاط فى خط بالمقارنة مع عدد الأعداد الصحيحة ، لوجدنا أن هذين العددين غير متساويين ، فعدد النقاط فى خط يزيد كثيرا عن كل من الأعداد الصحيحة أو الكسور . ولا ثبات ذلك دعنا نحاول تطبيق قاعدة التناظر على النقاط الواقعة على خط مستقيم طوله بوصة واحدة مثلا : ان كل نقطة على الخط تحدد بالمسافة بينها وبين احدى نهايتى هذا الخط ويمكن كتابة هذه المسافة فى صورة كسر عشرى لا نهائى مثل 0.0647800560007350 ر أو 0.0003267503825 ر (٩) . اذن علينا أن نقارن بين الأعداد الصحيحة محلها ، والكسور العشرية الممكنة واللا نهائية .

والآن ما الفرق بين الكسر العشري والكسر الاعتيادي مثل $\frac{2}{7}$ أو $\frac{1}{6}$ ؟ لابد وأنت تذكر من دراستك للرياضيات أن كل كسر اعتيادي يمكن تحويله الى كسر عشري تقريبي . وهكذا فإن $\frac{2}{3} = 0.66666\ldots$ و $\frac{3}{7} = 0.428571 \dots$

(٤٢٨٥٧١) ر . وقد ذكرنا فيما سبق أن عدد الكسور الاعتيادية يتساوى مع العدد الكلي للأرقام الصحيحة ، وهذا فان الكسور العشرية المقربة لابد وأن تتساوى مع الأعداد الصحيحة أيضا . ولكن النقاط الموجودة في خط مستقيم لا تمثل بالضرورة الكسور العشرية المقربة . ففي أغلب الأحيان سنحصل على كسور لا نهائية يبدو فيها الرقم العشري دون أى تقريب اطلاقا ، ومن السهل عندئذ أن يتضح لنا أنه لا يمكن الحصول على ترتيب خطي .

افتراض أن شخصا ما يزعم أن بمقدوره اجراء هذا الترتيب على الصورة التالية :

(٩) جميع هذه الكسور يقل عن الواحدة اذ أننا قد فرضنا أن طول الخط يقل عن
 بوصة .

٠٠ر٣٨٦٠٢٥٦٣٠٧٨٠٠٠	١
٠٠ر٥٧ ٣٥٠٧٦٢٠٥٠٠٠	٢
٠٠ر٩٩٣٥٦٧٥٣٢٠٧٠٠٠	٣
٠٠ر٢٥٧٦٣٢٠٠٤٥٦٠٠٠	٤
٠٠ر٠٠٠٠٠٥٣٢٠٥٦٢٠٠٠	٥
٠٠ر٩٩٠٣٥٦٣٨٥٦٧٠٠٠	٦
٠٠ر٥٥٥٢٢٧٣٠٥٦٧٠٠٠	٧
٠٠ر٠٥٢٧٧٣٦٥٦٤٢٠٠٠	٨
.....	.
.....	.

ولما كان يستحيل كتابة الأعداد اللانهائية ، وفي مقابلها جميع الكسور العشرية اللانهائية ، فإن الدعوى السابقة تعنى أن من يكتب الجدول لابد أنه يستند على قاعدة عامة (مثل القاعدة التى استندنا إليها عند ترتيب الكسور الاعتيادية) ، ووفقا لهذه القاعدة يتم ترتيب الجدول ، وهى تضمن أن أى كسر عشرى يمكن تصويره لابد أن يحتوى الجدول عليه .

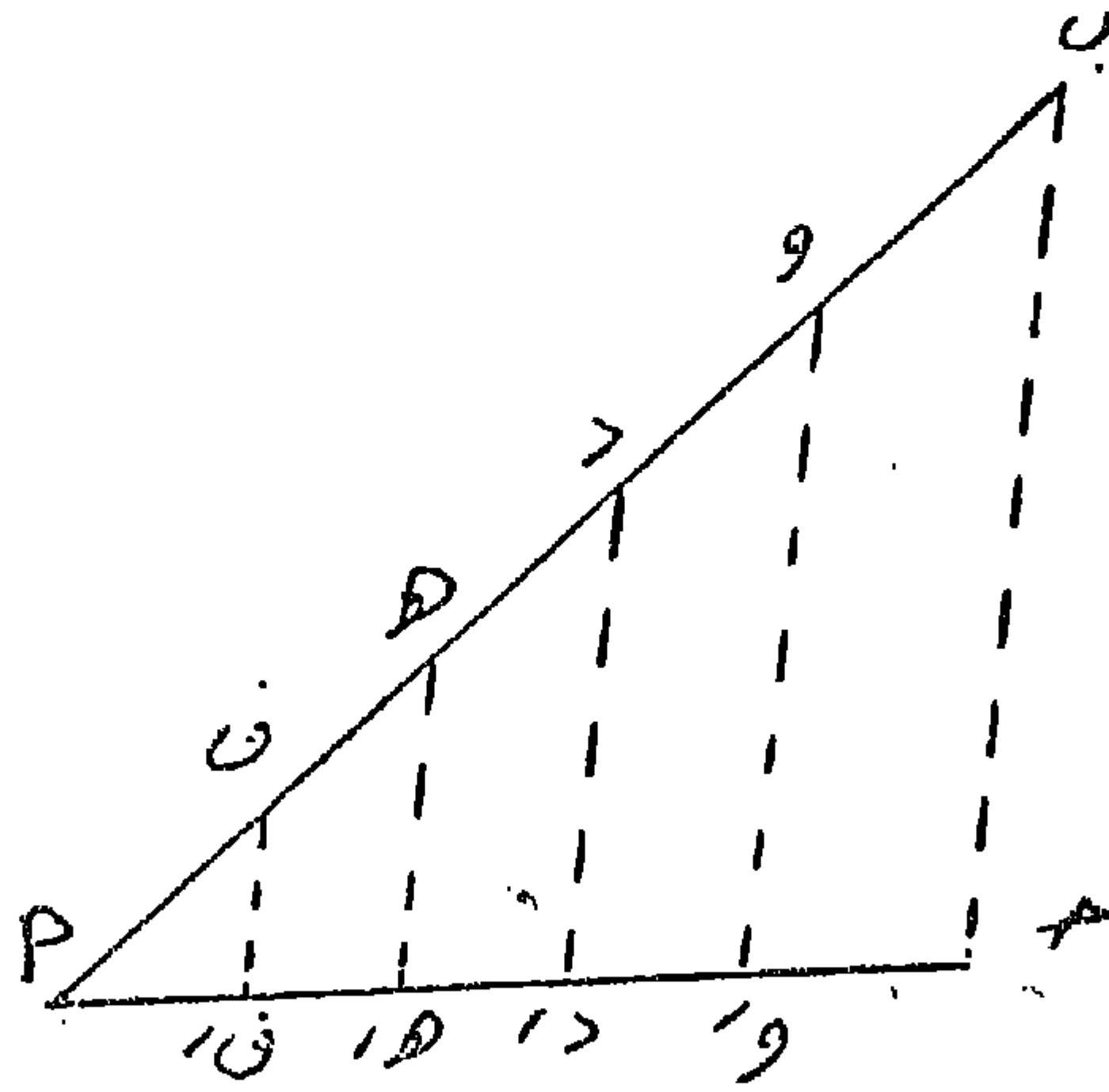
وليس من الصعب اطلاقا ايضاح أن أى زعم من هذا القبيل يمكن تفنيده ، اذ أننا نستطيع دائما أن نكتب رقما عشريا لا يتضمنه هذا الجدول ، وكيف يمكن ذلك ؟ . . الاجابة سهلة ، ما عليك الا أن تكتب الكسر المحتوى على أول رقم عشرى مخالف للموجود أمام العدد (١) فى الجدول ، والرقم العشرى الثانى المختلف عن مقابل العدد (٢) وهكذا . وسوف تحصل على رقم يتشابه نوعا مع الأرقام التالية :

٥	٢	٧	٤	صفر	٧	١	٢
وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس	وليس
٣	٧	٣	٦	٥	٦	٣	٥

ولن تجد هذا الرقم فى الجدول مهما بحثت عنه . فاذا ما أجاب صاحب الجدول بأنك سوف تجد هذا الكسر مقابل رقم ١٣٧ (أو أى رقم آخر) فيمكنك أن تجيب فى الحال « كلا فهو ليس نفس الرقم ذلك أن الكسر العشرى الموجود أمام رقم ١٣٧ فى جدولك يختلف عن ذلك الكسر الموجود أمام رقم ١٣٧ فى جدولى » .

وحتماً يستحيل وضع جدول تناظري بين النقاط على خط مستقيم والأعداد الصحيحة وهذا يعنى أن لا نهائية نقاط الخط المستقيم تزيد ، أو هي أكثر من لا نهائية جميع الأعداد الصحيحة أو الكسور .

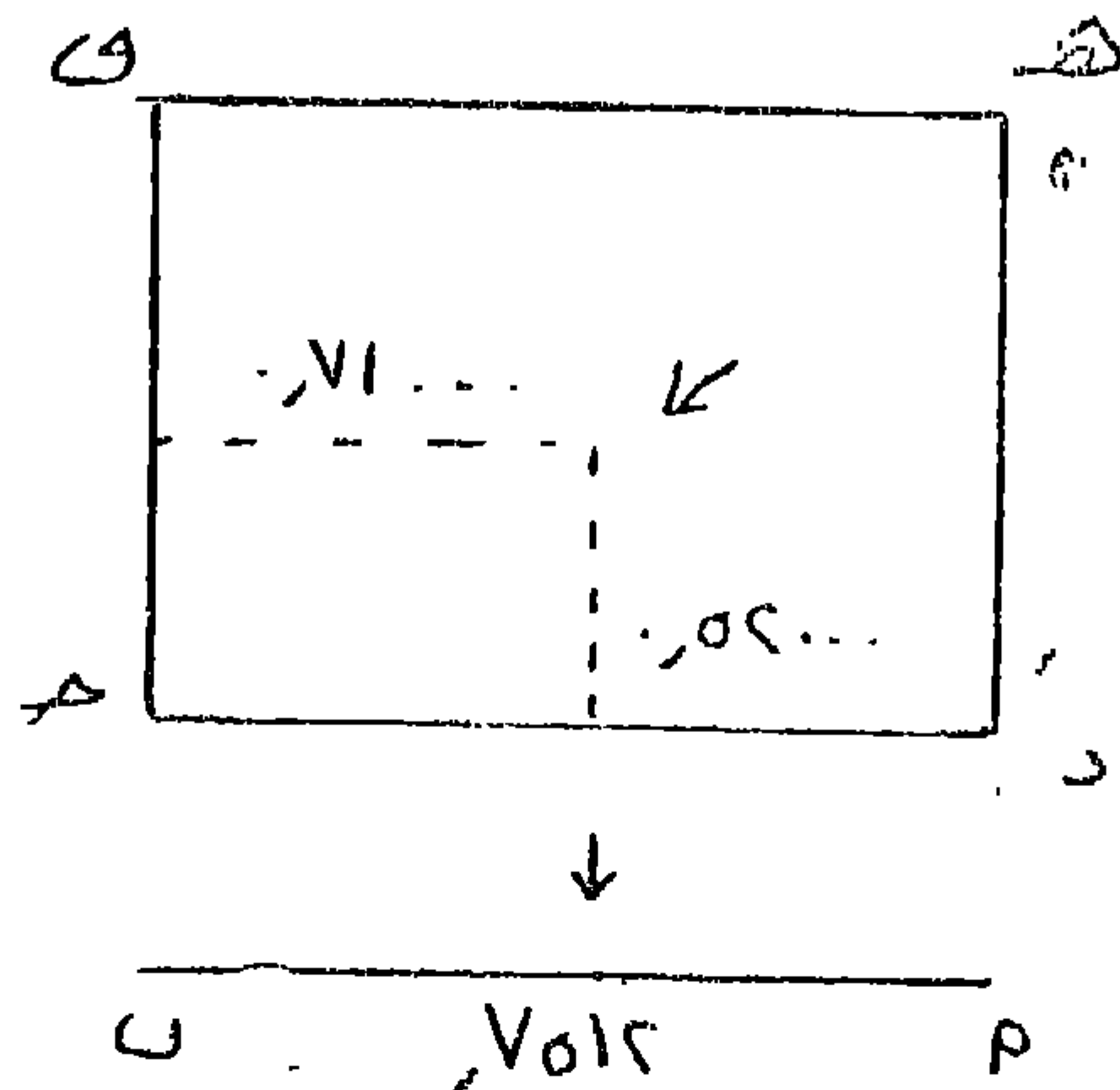
لقد عالجنا النقاط على خط طوله « بوصة واحدة » ولكن من السهل الآن أن نبين ، تطبيقاً للقواعد الخاصة « بالحساب اللانهائى » أن النتيجة التى سبق الوصول إليها تصح فى جميع الأطوال . والحقيقة أن عدد النقاط الهندسية الموجودة على خط طوله سنتيمتر واحد ، يساوى نقاط خط طوله متر أو حتى كيلومترات . وحتى يتسنى لك اثبات ذلك ما عليك إلا أن تلقى نظرة على شكل رقم (٦) الذى نقارن فيه بين عدد النقاط على خطين مختلفين فى الطول أ ب ، أ ج . وحتى يمكن إجراء مقارنة حد مقابل حد نرسم خطاً يصل كل نقطة على الخط أ ب ، بنقطة على الخط أ ج بحيث يوازي الخط ب ج ، على أن تعطى رموزاً مثل ف ف لخط ما ، و ه ه لخط آخر ، و د د لخط ثالث الخ وسوف تجد أن لكل نقطة على الخط أ ب هناك نقطة على الخط أ ج والعكس بالعكس ، ولذا فطبقاً لقاعدتنا فى مقارنة اللانهايات يتساوى عدد النقاط .



شكل (٦)

والأعجب من ذلك ، هذه النتيجة التى تتضمنها العبارة التالية :
 أن عدد النقاط الموجودة على خط واحد يساوى عدد النقاط الموجودة فى مستوى ولاثبات ذلك ، أمعن النظر فى النقاط الموجودة على الخط أ ب بطول بوصة واحدة والنقاط داخل المربع ج د ه ف . (شكل ٧) .

ولنفرض أن موضع نقطة ما على الخط يتحدد برقم ٠٧٥١٢٠٣٨٦٠٠
مثلا بإمكاننا أن نحلل هذا العدد الى عددين مختلفين باختيار موضعين
عشريين أحدهما فردي والآخر زوجي ، ووضعهما معا فنحصل على
الرقمين : ٠٧١٠٨٠٠٠ ، ٠٥٢٣٦٠٠٠ (*)



(شكل رقم ٧)

قس المسافة التي يحددها هذان الرقمان على المحورين الرأسى والأفقى
للمربع ، ويطلق على هذه النقطة « النقطة المزدوجة » للنقطة الأصلية
على الخط . وبالعكس ، اذا وجدت نقطة داخل المربع لها احداثيان ،
نفترض أنهما ٠٤٨٣٥٠٠٠٠ ، ٠٩٩٠٧٠٠٠ سوف نحصل على النقطة
المقابلة على الخط ، التي يحددها الرقم : ٠٤٩٨٩٣٠٥٧٠٠٠

ومن الواضح أن هذا الاجراء يمكننا من انشاء علاقة تناظر بين هذين
النوعين من النقاط ، فكل نقطة على الخط سوف تقابلها نقطة مزدوجة داخل
المربع ، ولن تبقى نقطة واحدة بغير مقابل لها .

وبالمثل يمكن اثبات أن لا نهائية النقاط على مكعب ، تتساوى مع
لا نهائية النقاط داخل مربع أو على خط ، وحتى نفعل ذلك يمكننا ببساطة
أن نحلل الرقم العشرى الأصلي الى ثلاثة أجزاء (١٠) ، ونستخدم الثلاثة

(*) الرقم الاول (٠٧١٠٨٠٠٠) يبدأ من أول رقم على يمين العلامة وهو الموضع
الفردي وهكذا بالتبادل بحيث نأخذ رقما ونهمل الذى يليه .
والرقم الثانى (٠٥٢٣٦٠٠٠) يبدأ من ثانى رقم على يمين العلامة وهو الموضع
الزوجى (المترجم) .

(١٠) فمن الرقم ٠٧٣٥١٠٦٨٢٢٥٤٨٣١٢ مثلا نحصل على : ٠٧١٨٥٣

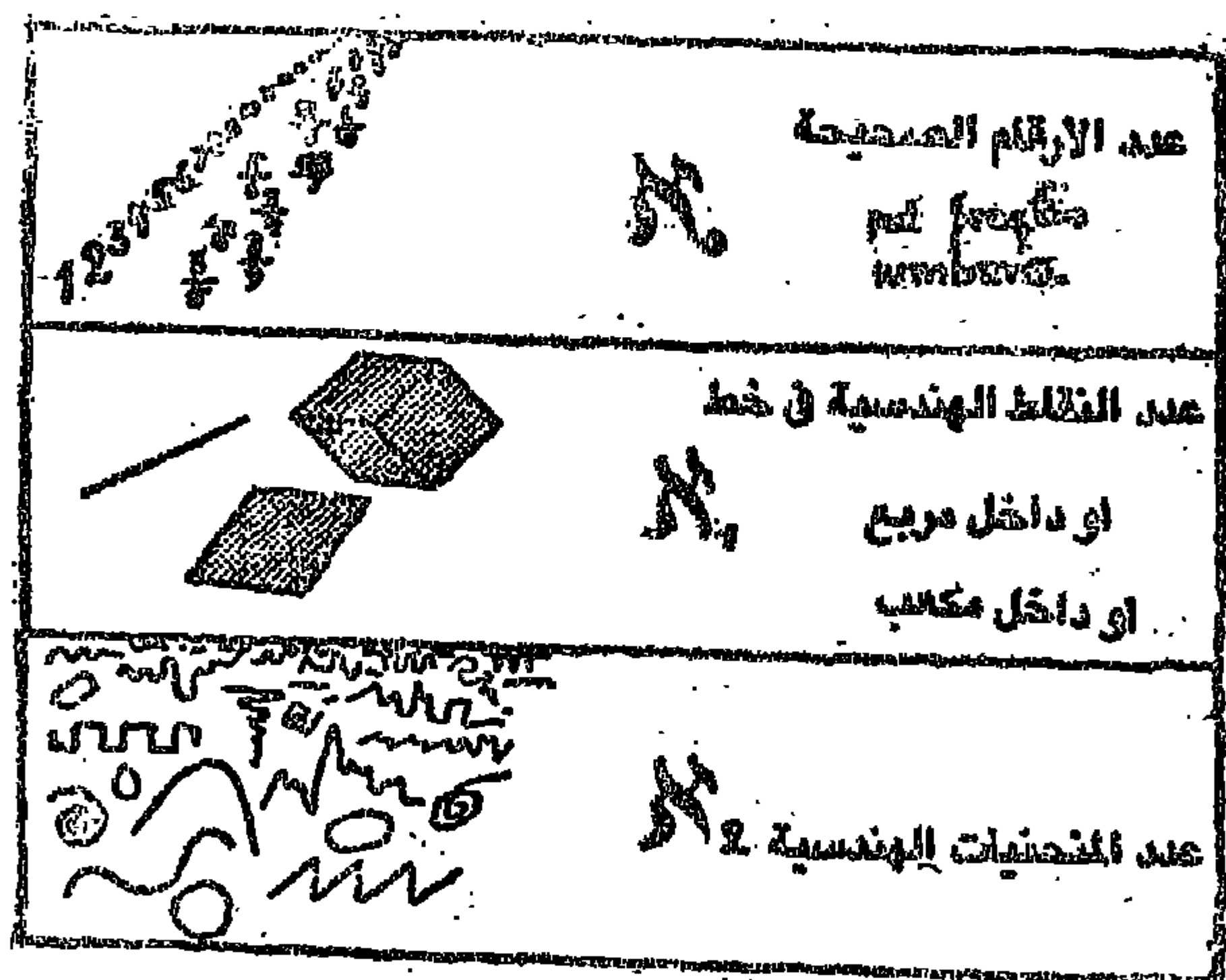
٠٣٠٢٤١

٠٥٦٢٨٢

أرقام التي تم الحصول عليها في تحديد موضع « النقطة المزدوجة » داخل المكعب . وسوف نجد أن النقط داخل مكعب أو مربع تتساوى تماما مع النقط على خط تماما كما هو الحال بالنسبة لخطين مختلفي الطول مهما اختلفت أحجام المكعبات ومساحات المربعات وأطوال الخطوط على أن العدد الكلي للنقاط الهندسية لا يعتبر أكبر رقم معروف عند علماء الرياضيات ، على الرغم من أنه أكبر من جميع الأعداد الصحيحة والكسور الاعتيادية ، وفي الواقع لقد وجد أن كافة صور المنحنيات بما في ذلك أكثرها غرابة تفوق في عددها عدد النقاط الهندسية وبذا فإنها تتصدر جميع الأعداد اللانهائية في الترتيب .

ووفقا لجورج كانتور مؤسس علم « الحساب اللانهائي » يرمز للأعداد اللانهائية بالحرف ألف (*) أو الرمز الرياضى ∞ مع اضافة رقم أسفل يمين الحرف للإشارة الى ترتيبه في قائمة اللانهائيات ، وهكذا يكتب تتابع الأرقام (بما في ذلك اللانهائي منها) كما يلي :

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ∞_1 ∞_2 ∞_3



(شكل رقم ٨)

شكل رقم (٨) : الثلاث لا نهائيات الأولى وفقا لترتيبها

ويمكن القول انه « هناك عدد ∞_1 نقطة على الخط المستقيم » أو هناك عدد ∞_2 « منحنى مختلف » تماما كما نقول ان « العالم به ست قارات » ، أو أن « أوراق اللعب ٥٢ ورقة » .

(*) في العبرية .

وفى ختام الحديث عن الأعداد اللانهائية نقول ، ان هذه الأعداد
يمكنها بسرعة بالغة أن تتجاوز أى مجموعة أرقام يمكن لشخص ما أن يفكر
فيها . ونحن نعلم أن ∞ يمثل عدد الأرقام الصحيحة ، وأن ∞ يمثل
العدد الكلى للنقاط الهندسية والعدد ∞ يمثل كافة المنحنيات الممكنة ،
على أن أحدا لم يتوصل حتى الآن الى تحديد نوع من اللانهائيات يمكن
اعطاؤه الرقم ∞ . ويبدو أن الثلاث لا نهائيات الأولى تكفى لعد أى شئ
يخطر ببالنا وهكذا نجد أنفسنا فى نفس الموقف الذى يواجهه صاحبنا
القديم من أبناء الهوتنتوت حين ينبج أكثر من ثلاثة وهو لا يستطيع
عدهم !! •

الفصل الثانى

الأعداد الطبيعية والأعداد التمثيلية

١ - الرياضيات البحتة :

تعتبر الرياضيات عادة ، وخاصة من وجهة نظر الرياضيين ملكة العلوم ، ولما كانت ملكة فمن الطبيعى أن تحاول الترفع عن العلاقات غير المتكافئة مع غيرها من أفرع المعرفة . ولذا عندما طلب من « دافيد هلبرت » ، على سبيل المثال ، أن يلقي كلمة افتتاحية فى اجتماع مشترك بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية ليأخف من حدة الشعور العدائى الذى ساد بينهما بدأ كلمته قائلا :

« يزعم البعض أن الكثير من علماء الرياضة البحتة والتطبيقية ، يبادل كل منهما الآخر عدااء بعداء ، وهذا ليس صحيحا ، فليس بين هذين الفرعين من الرياضة أى عدااء . ولم يكن بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية أى عدااء من قبل ، ولن يوجد بين علماء الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية أى عدااء فى المستقبل ، ولا يمكن أن يكون هناك أى عدااء بين الرياضة البحتة والرياضة التطبيقية ، فالحقيقة أنه لا توجد أى صلة على الإطلاق بين هذين الفرعين من الرياضيات » . ولكن على الرغم من ميل علم الرياضيات الى التفرد والتجريدية أكثر من غيره من العلوم ، إلا أن باقى العلوم ، ولا سيما الفيزياء ، تسيل الى الرياضيات ، وتحاول أن « تتأخى » معها بقدر الامكان . ولا يوجد فرع فى الرياضيات البحتة تقريبا الا ويستخدم فى ايضاح ، ظاهرة أو أخرى من ظواهر الكون الطبيعى . وهذا يتضمن أفرعا من المعرفة مثل نظرية

الأنواع المجردة ، والجبر غير التبادلي ، والهندسة اللاقليدية ، والتي كانت تعتبر دائما من الرياضيات البحتة ، غير القابلة لأي تطبيق على أن هناك فرعا كبيرا من الرياضيات نجح حتى الآن في أن يبقى غير ذي اتصال ، أو نفع لأي علم فيما عدا استخدامه في التدريب الذهني ، وبهذا يمكنه أن يتوج بفخر بـ « تاج التجرد المطلق » . وهذا الفرع هو ما يسمى بـ « نظرية الأعداد » (أي الأعداد الصحيحة) وهو أحد أقدم وأعقد ثمار الفكر الرياضي البحت .

وعلى الرغم من غرابة هذا القول ، إلا أن نظرية الأعداد ، بصفتها أرقى أنواع الرياضة البحتة (من حيث التجرد) إلا أنها تعتبر من وجهة نظر معينة علما تطبيقيا بل تجريبيا أيضا . والواقع أن أغلب فروضها قد قامت على براهين رياضية ، كالفيزياء تماما . في حين ظلت بقية الفروض مستندة الى التجربة أو الأصل التطبيقي فأعجزت عقول خيرة علماء الرياضيات .

خذ مثلا على ذلك مشكلة الأعداد الأولية (prime number) انها الأعداد التي لا يمكن تحليلها في صورة حاصل ضرب عددين أو أكثر ولذا تسمى بالأعداد الأولية مثل ١ ، ٥ ، ٧ ، ٠٠٠ ، بينما يعتبر العدد ١٢ مثلا عدد غير أولي اذ يمكن تحليله هكذا : $2 \times 2 \times 3$.

هل الأعداد الأولية لا نهائية أم أنها تنتهي عند عدد معين يمكن بعده أن نحصل على عدد أولي من حاصل ضرب رقمين أو أكثر ؟ كان أول من اقترح هذه المشكلة « اقليدس » وقد قدم دليلا غاية في البساطة والذكاء على أن الأعداد الأولية تملأ بغير حدود بحيث لا يوجد ما يمكن تسميته بـ « أكبر الأعداد الأولية » .

وحتى يمكن مناقشة هذا السؤال افترض ولو لدقيقة أن الأعداد الأولية محدودة ، وافرض أن هناك رقما هو أكبر هذه الأعداد ولنرمز اليه بالرمز ن . والآن اضرب كافة الأعداد الأولية المعروفة لدينا ثم أضف عليها واحد ، ويمكن كتابة هذا المقدار كالتالي :

$$(1 \times 2 \times 3 \times 5 \times 7 \times 11 \times 13 \times \dots \times n) + 1$$

وهذا المقدار يعتبر بالطبع أكبر من « أكبر الأعداد الأولية » المفترض ويتضح لنا مع ذلك أن هذا الرقم لا يقبل القسمة على أي عدد أولي - بما في ذلك الرقم (ن) - ذلك أنه من مكونات هذا الرقم فواضح أن قسمته على أي عدد أولي سوف يتبقى عنها رقم (١) .

اذن فاما أن يكون هذا العدد عددا أوليا هو نفسه أو أن يكون قابلا
للقسمة على عدد أكبر من (ن) . وكلا الحالتين تتعارضان مع الفرض
الأساسي الذي ينص على أن (ن) هي أكبر الأعداد الأولية الموجودة :

ينتمى هذا البرهان الى أسلوب « نقض النقيض » (reductio-
ad absurdum الذي يعده علماء الرياضيات من أفضل أنواع البراهين .

وطالما علمنا أن عدد الأعداد الأولية لا نهائي ، بقي أن نسأل
أنفسنا عما اذا كانت هناك طريقة مبسطة لادراج هذه الأعداد في قائمة
على التوالي دون أن يغيب عنها عدد واحد . كان أول من اقترح هذه
الطريقة الفيلسوف الاغريقي وعالم الرياضيات القديم « ايراتوستينيس »
Eratosthenes وهي الطريقة المعروفة عادة « بالغربال » . وما عليك
الا أن تكتب الأعداد الصحيحة integers بالترتيب :

١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ... الخ

ثم تقوم بحذف مضاعفات العدد (٢) ، ثم الباقي من مضاعفات
العدد (٣) ثم مضاعفات العدد (٥) وهكذا . ويوضح شكل (٩) « غربال ».



(شكل رقم ٩)

ايراتوسثينيس « للمائة عدد الأولي ، وهو يتضمن ستة وعشرين عددا أوليا ، وباستعمال طريقة الغربلة السابق ايضاها يمكن الحصول على جدول الأعداد الأولية حتى مليار .

ومع ذلك فقد يكون من الأفضل والأبسط أن نصمم طريقة يمكن من خلالها الوقوف بسرعة وبطريقة أوتوماتيكية على الأعداد الأولية كلها دون أن نهمل واحدا منها . على أن مثل هذه الصيغة غير موجودة بالرغم من المحاولات التي جرت على مدار القرون . ففي عام ١٦٤٠ ظن العالم الفرنسي الرياضي الشهير « فيرما » (Fermat) أنه قد توصل الى قانون نحصل منه على جميع الأعداد الأولية ، وتدل (ن) في قانونه الذي وضعه على صورة $2^n + 1$ الى القيم المتتالية ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، الخ وبالتعويض في هذا القانون نحصل على ما يلي :

$$5 = 1 + 2^2$$

$$17 = 1 + 2^{2^2}$$

$$257 = 1 + 2^{2^3}$$

$$65537 = 1 + 2^{2^4}$$

والحقيقة أن كل هذه القيم أولية ، ولكن بعد حوالي قرن من اكتشاف « فيرما » ، أوضح « أويلر » (Euler) العالم الرياضي الألماني أن القيمة الخامسة في هذا القانون $(2^{2^5} + 1)$ التي تعطي الرقم ٤٢٩٤٩٦٧٢٩٧ ليست قيمة أولية ، ولكنها حاصل ضرب ٦٤١ × ٦٧٠٠٤١٧ . وهكذا أثبت أن قاعدة « فيرما » لحساب الأعداد الأولية قاعدة خاطئة وهناك قاعدة أخرى تمكنا من الحصول على عدد كبير من القيم الأولية وهي :

$$(ن) 2 - ن + ٤١$$

و ن هنا تعبر أيضا عن القيم ١ ، ٢ ، ٣ ، الخ ، وقد ظهر أنه عندما نرسم ن الى قيم تتراوح من ١ الى ٤٠ ، تكون القاعدة السابقة صحيحة ، ولكن من سوء الحظ أن هذه القاعدة تفشل عند ن = ٤١ فالحقيقة أي $(٤١) 2 - ٤١ + ٤١ = ٤١ = ٤١ \times ٤١$.

وهي مربع رقم (٤١) وليست عددا أوليا .

وعنناك محاولة أخرى أسفرت عن القانون الآتي :

$$(ن) 2 - ٧٩ ن + ١٦٠١$$

و ن تعطي أعدادا أولية حتى ن = ٧٩ ولكنها لا تنطبق عند ن = ٨٠

وهكذا ظلت مشكلة صياغة قانون عام للحصول على الأعداد الأولية فقط نثرا يبحث عن حل .

ومن بين محاولات التنظير المشوقة والتي لم يثبت نجاحها أو فشلها تلك التي يطلق عليها ، فرضية « جولدباخ » Gold bach ، وقد ظهرت عام ١٧٤٢ وتنص على أن كل عدد زوجي يمكن التعبير عنه في صورة مجموع عددين أوليين ، ويمكنك بسهولة أن تتأكد من صحتها عند تطبيقها على أمثلة مبسطة مثل : $12 = 5 + 7$ ، $24 = 7 + 17$ ، $32 = 3 + 29$. وعلى الرغم من ضخامة المحاولات التي أجراها العلماء في هذا المجال فقد فشلوا في التوصل الى نتيجة نهائية تثبت صحة هذه القاعدة من عدمه . وفي عام ١٩٣١ نجح الرياضي الروسي « شنيرلمان » (Schnirelman) في أن يخطو أول خطوة بناءة نحو البرهان المطلوب ، فقد نجح في اثبات أن كل عدد زوجي هو مجموع ما لا يزيد عن ٣٠٠٠٠٠٠ عدد أولي ، وبعد ذلك ضاقت الفجوة بين قانون شنيرلمان « لمجموع ٣٠٠٠٠٠٠ عدد أولي » والبرهان المطلوب بالنسبة « لمجموع عددين أوليين » على يد الرياضي الروسي « فينوجرادوف Vinogradoff » حيث نجح في انتقاصها الى « أربعة أعداد أولية » ، ولكن يبدو أن الخطوة الأخيرة للتقريب بين فينوجرادوف وجولدباخ ، أي « مجموع أربعة أعداد أولية » و « مجموع عددين أوليين » هي أعقد الخطوات وأصعبها ، وليس في مقدور أحد أن يتنبأ بالزمن اللازم لحلها سواء كان بضعة أعوام أم بضعة قرون .

إذا فنحن بعيدون جدا ، على ما يبدو ، عن صياغة قانون عام يغطي كافة الأعداد الأولية تلقائيا مهما كانت ضخامة هذا العدد كما أنه لا يوجد ما يبشر بقرب صياغته .

ودعنا نطرح تساؤلا أكثر تواضعا ، عن النسبة المئوية للأعداد الأولية في أي فئة عددية ، هل تبقى النسبة ثابتة تقريبا بغض النظر عن زيادة الأعداد ؟ وان لم يكن فهل تزيده أم تنقص ؟ وبإمكاننا الإجابة عن ذلك عمليا بإحصاء الأعداد الأولية في الجدول التالي ، وسنجد أن هناك ٢٦ عددا أوليا في الفئة من ١ — ١٠٠ و ١٦٨ في الفئة من ١ — ١٠٠٠ و ٧٨٤٩٨ عددا أوليا في الفئة من ١ — ١٠٠٠٠٠٠٠ وهكذا .

كما نرى في الجدول ، وبقسمة هذه الأعداد الأولية على ما يقابلها من فئات عددية نحصل على الجدول الآتي :

الفئة	الأعداد	النسبة	١	النسبة المئوية
١ - ن	الأولية	النسبة	لو ن	للاتخلاف %
١ - ١٠٠	٢٦	٠.٢٦٠	٠.٢٦٧	٢٠
١ - ١٠٠٠	١٦٨	٠.١٦٨	١٩٥	١٦
١ - ٦١٠	٧٨٤٩٨	٠.٧٨٤٩٨	٠.٧٢٣٨٢	٥
١ - ٦١٠	٥٠.٨٤٧٤٧٨	٠.٥٠٨٤٧٤٧٨	٠.٤٨٢٥٤٩٤٢	٨

هذا الجدول يوضح أولا أن العدد النسبي للقيم الأولية يتناقص بالتدريج ، مع الزيادة في الأعداد الصحيحة ، ولكن ليس هناك حد تنعدم بعده القيم الأولية تماما .

هل هناك صيغة رياضية مبسطة تعبر عن هذه النسبة المتناقصة للأعداد الأولية الموجودة في الفئات الضخمة ؟ نعم ، وتعد القوانين التي تشير الى متوسط توزيع الأعداد الأولية من بين أهم الاكتشافات في علم الرياضيات بأكمله ، وهي تنص على أن النسبة المئوية للأعداد الأولية في فئة عددية لأي عدد أكبر (ن) يعبر عنها تقريبا باللوغاريتم الطبيعي ل ن (١) وكلمات زادت (ن) كلما كانت النسبة أكثر قربا من القيمة الحقيقية .

وانظر العمود الرابع في الجدول السابق (اللوغاريتم الطبيعي) ثم قارن بينه وبين القيم في العمود الثالث فتجد تقاربا شديدا ولا سيما عند زيادة (ن) .

وكما في الكثير من فروض نظرية الأعداد ، نجد أن نظرية الأعداد الأولية السابق ايضاحها ، من النظريات التي ثبتت عن طريق التطبيق وظلت لفترة طويلة تفتقر الى برهان رياضي محدد . ولم ينبثق في التوصل الى البرهان الا العالمان الرياضيان « هادمار » Hadmard الفرنسي والبلجيكي « دو لافالي بوسان » (de la Vallée Poussin) وذلك في أواخر القرن الماضي ، باستخدام أسلوب غاية في التعقيد والصعوبة بحيث يتعذر شرحه هنا .

(١) يمكن تعريف اللوغاريتم الطبيعي ، بطريقة مبسطة ، بأنه اللوغاريتم العادي في الجدول مضروبا في المعامل ٢.٣٠٢٦ .

ولا يفوتنا قبل أن نخلق باب مناقشة الأعداد الصحيحة • أن نسير الى نظرية « فيرما » الشهيرة ، التي تصلح مثالا يوضح لنا المشكلات التي لا تتصل بالضرورة بخواص الأعداد الأولية ، وتمتد جذور هذه المشكلة الى مصر القديمة ، حيث كان كل نجار ماهر يعرف أن أى مثلث النسبة بين أضلاعه ٣ : ٤ : ٥ لابد وأن يحتوى على زاوية قائمة وقد استخدم قدماء المصريين هذا المثلث كأداة للقياس وهو معروف حتى الآن بالمثلث المصرى (٢) •

وفى القرن الثالث الميلادى تساءل « ديوفانتس » (Diophantes) السكندرى عما اذا كان العددين ٣ ، ٤ هما وحدهما العددين الصحيحان اللذان يساوى مجموع مربعهما مربع رقم ثالث . ونجح فى اثبات وجود ثلاثيات أخرى مشابهة (والواقع أن عددهما لا نهاية له) • كما نجح فى صياغة قاعدة لها وتعرف هذه المثلثات الآن بمثلثات فيثاغورث Pythagorean triangles (أعداد صحيحة فقط) وكان أول ما عرف منها المثلث المصرى • ويمكن صياغة معادلة لها بسهولة باستخدام رموز مثل س ، ي ، ز كـأعداد صحيحة (٣) •

$$\text{حيث} \quad س^2 = ي^2 + ز^2$$

(٢) عادة تدرس نظرية فيثاغورث لتلاميذ المرحلة الابتدائية على الصورة :

$$٢٥ = ٢٤ + ٢٣$$

(٣) لتطبيق قانون ديوفانتيس خذ أى رقمين ا ، ب بشرط أن يكون ٢ ا ب مربعا كاملا ، ثم اجعل س = ا + ٢ ا ب ، هـ ارمز بـ ي بحيث = ب + ٢ ا ب ، والرمز ز = ا + ب + ٢ ا ب •

• • • س = ي + ز ويسهل اثبات ذلك بالجبر البسيط وبناء عليه ضاع الجدول التالى لكافة الحلول الممكنة :

$$٢٥ = ٢٤ + ٢٣$$

$$٢١٣ = ٢١٢ + ٢٥$$

$$٢١٠ = ٢٨ + ٢٦$$

$$٢٢٥ = ٢٢٤ + ٢٧$$

$$٢١٧ = ٢١٥ + ٢٨$$

$$٢١٥ = ٢١٢ + ٢٩$$

$$٢٤١ = ٢٤٠ + ٢٩$$

$$٢٢٦ = ٢٢٤ + ٢١٠$$

وفى عام ١٦٢١ . اشترى « بيير فيرما » نسخة من الترجمة الفرنسية الجديدة لكتاب ديوفانتس (الرياضيات) والذي ناقش فيه مثلث « فيثاغورث » . وعندما قرأه ، كتب ملاحظة صغيرة فى الهامش : حيث ان المعادلة $s^2 + y^2 = z^2$ يمكن حلها باستخدام عدد لا نهائى من حلول الأعداد الصحيحة ، فان أى معادلة على الشكل :

$$s^2 + y^2 = z^2$$

حيث n عدد أكبر من ٢ ، لا حل لها على الاطلاق .
وأضاف فيرما قائلا « لقد اكتشفت برهانا عجيبا حقا . ولكن هذا الهامش يضيق عنه » .

وعندما توفى « فيرما » اكتشف كتاب « ديوفانتس » فى مكتبته ، وأصبح ما كتبه فى الهامش معروفا للعالم أجمع ، وقد حدث هذا منذ ثلاثة قرون ، ومنذ ذلك الحين والعلماء يحاولون معرفة البرهان الذى جال بخاطر « فيرما » وهو يكتب ملاحظته ، ولكنهم عجزوا عن ذلك حتى الآن . ومن المؤكد أنه قد حدث تقدم ملموس نحو الهدف النهائى ، بل ان هذه المحاولات قد أدت الى ظهور فرع جديد فى عالم الرياضيات وهو ما يعرف بـ « نظرية الأعداد المثالية » theory of ideals عند البحث عن برهان لنظرية فيرما ، وقد بين أويلر استحالة التوصل الى حل صحيح للمعادلة $s^2 + y^2 = z^2$ والمعادلة $s^2 + y^2 = z^2$ وبرهن « دريشليت » (Dirichlet) على نفس الشئ بالنسبة للمعادلة $s^2 + y^2 = z^2$. ومن خلال الجهود المجمعّة التى بذلها العديد من الرياضيين ، أصبح بمقدورنا الآن أن نؤكد أنه لا يوجد حل لمعادلة فيرما ، فى حالة n أقل من ٢٦٩ . ومع ذلك فلا نزال مفتقرين الى برهان عام لمعادلة فيرما حينما تكون « n » مساوية لأى قيمة صحيحة ، والشك متزايد فى أن يكون هو نفسه قد توصل الى برهان ، أو أخطأ فى ذلك . وقد ذاعت هذه المشكلة عندما أعلن عن جائزة قدرها مائة ألف مارك ألمانى لمن يحلها ، وعلى الرغم من ذلك فشلت جهود كافة الباحثين عن المال من الهواة فى التوصل الى الحل .

ويبقى بالطبع احتمال خطأ هذه النظرية ، كما أنه من المحتمل أن نجد مثالا يكون فيه عددان مرفوعين « لأس » عال من الأعداد الصحيحة مساويا لنفس الأس لعدد صحيح ثالث ، ولكن لما كان البحث عن هذا المثال التعويض بأعداد لا تقل عن ٢٦٩ فان هذا الأمر يعتبر أمرا عسيرا .

٢ - الجذر القادض $\sqrt{2}$ - ١

والآن دعونا نجرب نوعا من الرياضيات العليا : ان رقم اثنين مضروباً فى نفسه يساوى أربعة ، ورقم ثلاثة مضروباً فى نفسه يساوى ٩ ، وأربعة

فى أربعة تساوى ١٦ ، وخمسة مكررة خمس مرات تساوى خمسة وعشرين . اذن فالجذر التربيعى لأربعة هو اثنان ، والجذر التربيعى لتسعة هو ثلاثة ، والجذر التربيعى لرقم ١٦ هو أربعة ، والجذر التربيعى لخمسة وعشرين هو خمسة (٤) .

والآن ما الحل عندما يتعلق الأمر بالجذر التربيعى لعدد سالب ؟ وهل تعنى مقادير مثل $\sqrt{-5}$ ، $\sqrt{-1}$ أى معنى ؟ .

إذا نظرنا لهذه المسألة منطقيا فسرعان ما نوقن بأن لا معنى لها على الإطلاق . وكما قال « براهمن بسكار » (Brahmin Bhaskara) عالم الرياضيات الذى عاش فى القرن الثانى عشر « ان مربع العدد الموجب ، والسالب أيضا لابد أن يكون موجبا ، وبناء عليه فان الجذر التربيعى لأى عدد موجب له حلان موجب وسالب . ولا يمكن أن يكون هناك جذر تربيعى لعدد سالب لأن العدد السالب ليس مربعا » .

ولكن العناد من شيمة علماء الرياضيات ، فكلما استعصى عليهم شىء ، وتكرر ظهوره بذلوا جهدا أشد فى محاولة تفسيره ، ولا شك أن هناك جذورا تربيعية لأعداد سالبة كثيرا ما تظهر سواء فى المسائل الحسابية البسيطة ، أو فى معضلة القرن العشرين وهى توحيد الزمن والفراغ فى اطار نظرية النسبية والزمن لأينشتين .

وفى القرن السادس عشر كان العالم الايطالى الجرىء « كاردان » (Cardan) أول من وضع صيغة تحتوى على جذر تربيعى سالب ، وكان يبدو آنذاك شيئا بلا معنى . فعندما تناول كاردان مسألة تحليل العدد ١٠ الى مقدارين حاصل ضربهما = ٤٠ ، أشار الى أن هناك حلا لها ، وان كان غير منطقى ، ثم استخدم تعبيرين رياضيين مستحيين هما :

$$+5 + \sqrt{-15} , -5 - \sqrt{-15} \quad (5)$$

(٤) يسهل أيضا الحصول على الجذر التربيعى لعدد آخر من الأرقام ، فمثلا :

$$\sqrt{223600} = 473 \quad \text{وذلك لأن } (223600) \times (223600) = 50000000 \text{ تقريبا}$$

$$\sqrt{270200} = 520 \quad \text{وذلك لأن } (270200) \times (270200) = 73000000 \text{ تقريبا}$$

(٥) والبرهان هو :

$$10 = 5 + 5 = (\sqrt{-15} - 5) + (\sqrt{-15} + 5)$$

$$10 = 5 + (\sqrt{-15} + 5) = (\sqrt{-15} - 5) \times (\sqrt{-15} + 5) ,$$

$$10 = (\sqrt{-15} - 5) \times (\sqrt{-15} + 5) = (\sqrt{-15} \times \sqrt{-15}) - 15 = -10$$

$$40 = 10 + 30 =$$

وقد كتب كاردان هذه السطور في حياة وذكر أنها غير منطقيّة ولكنه كتبها وكفى .

فاذا واتتك الشجاعة اللازمة لكتابة جذر تربيعي سالب كما سبق لاستطعت حل هذه المسألة كما فعل كاردان . .

وما أن تم كسر الجمود الذي أحاط بهذه المشكلة (مشكلة الجذر التربيعي لمقدار سالب ، أو مقدار تخيلي كما كان يصفه « كاردان » حتى استخدم مختلف الرياضيين هذا المقدار مرارا وتكرارا ، مع كثير من التحفظات والمبررات اللازمة . ونجد في أحد كتب الجبر للرياضي السويسري « ليونار أويلر » (عام ١٧٧٠) عددا كبيرا من التطبيقات على الأعداد التخيلية ، الا أنها مذيّلة بما يشبه الاعتذار في تعليق يقول « ان كافة التعبيرات ، مثل $\sqrt{-1}$ ، $\sqrt{-2}$ الخ . . هي أرقام مستحيلة أو تخيلية ، ذلك أنها تمثل جذورا لكميات سالبة ، وعن هذه الأعداد يمكننا أن نقول بحق أنها لا شيء ، لا أكثر ولا أقل ، مما يجعل منها بالضرورة ضربا من الخيال أو المستحيل » .

ولكن على الرغم من كل هذه الاستخدامات الحاطة ، وما التمسوه من مبررات ، فسرعان ما أصبحت الأعداد التخيلية واقعا لا مفر منه ، في الرياضيات كالكسور والجذور تماما ، وأصبح من المؤكد عمليا أن تجاهلها يقف حائلا دون الوصول لأي نتيجة .

واذا صح التعبير نستطيع أن نقول أن عائلة الأعداد التخيلية تمثل انعكاسا للأعداد الحقيقية أو الاعتيادية على مرآة خيالية ، وبنفس الطريقة التي يمكن للمرء بها أن يرتب كافة الأعداد الحقيقية مبتدئا بالرقم الأساسي (١) ، يمكنه أيضا أن يرتب الأعداد الخيالية مبتدئا بالوحدة التخيلية الأولى منها وهي $\sqrt{-1}$ والتي يرمز إليها عادة بالرمز i .

ومن السهل أن نرى أن $\sqrt{-9} = \sqrt{-1} \times \sqrt{9} = i \times 3 = 3i$ ؛ $\sqrt{-7} =$

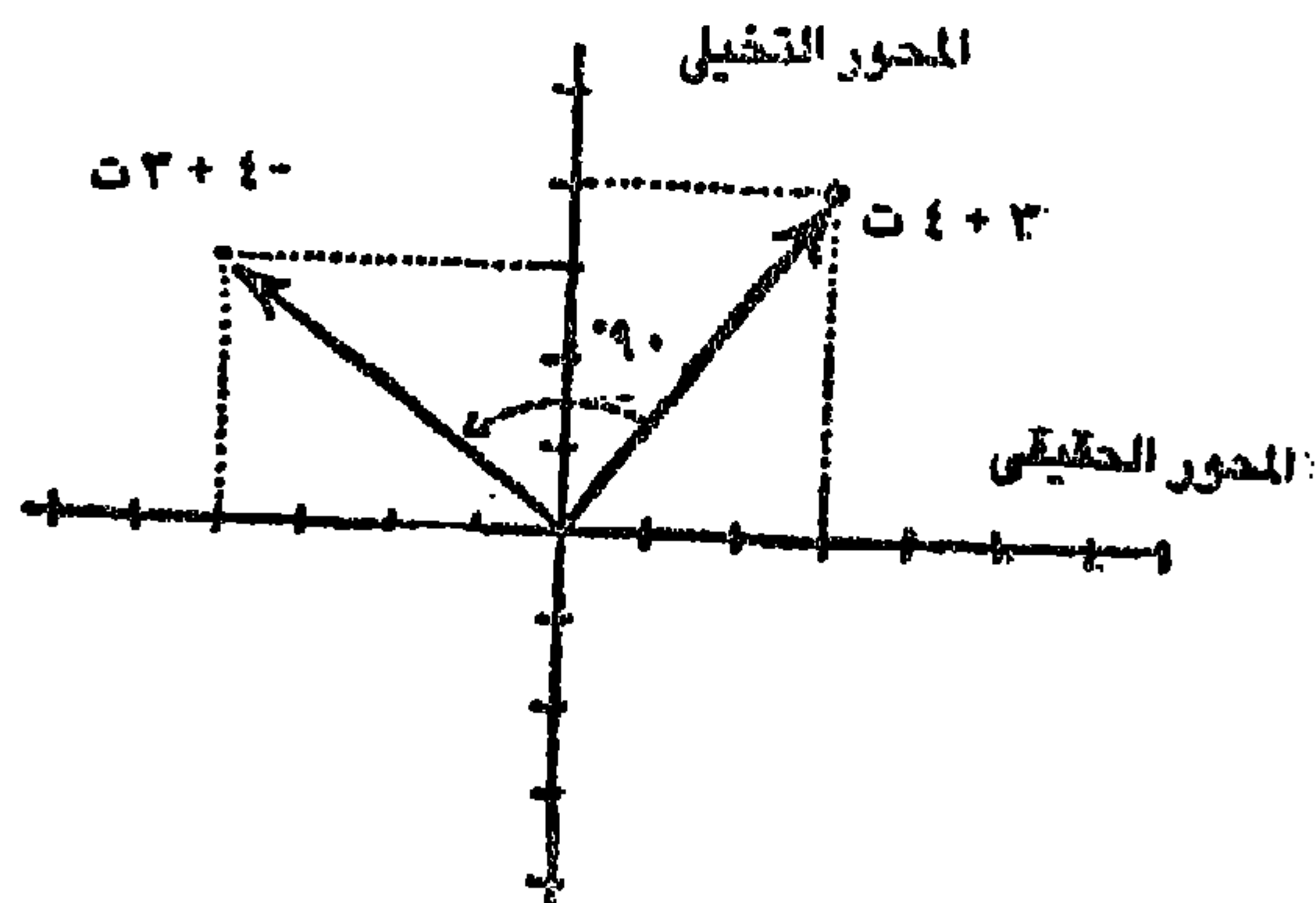
$\sqrt{-1} \times \sqrt{7} = i \times \sqrt{7}$ ، وهكذا نجد لكل عدد اعتيادي قرينا في الأعداد التخيلية . ويمكن لنا أيضا أن نقرن بين الأعداد الاعتيادية والخيالية في صيغة واحدة مثل $5 + \sqrt{-10} = 5 + i\sqrt{10}$ ، تماما كما فعل « كاردان » لأول مرة . وتعرف هذه الأرقام المهجنة بالأعداد المركبة . (Complex numbers) وقد ظلت الأعداد التخيلية بعد دخولها الى مجال الرياضيات مغلفة بنوع من الغموض استمر لما يزيد عن قرنين من الزمان .

حتى استطاع اثنان من هواة علم الرياضيات اعطاءها تفسيراً هندسياً في بحث قام به « مساح » نرويجي هو « فسيل » (Wessel) ومحاسب فرنسي هو « روبر آر جان » Robert Argand ولايضاح فكرتهما تأخذ المقدار $٣ + ٤ ت$ كمثال ، وهذا المقدار يمكن التعبير عنه كما في شكل (١٠) حيث ٣ هي المقابل للاحداثي الأفقي و ٤ للبعد أو الاحداثي الرأسى .

والحقيقة أن كافة الأعداد الحقيقية العادية (موجبة أو سالبة) يمكن التعبير عنها بنقاط على المحور الأفقى ، بينما يعبر عن الأعداد التخيلية تماماً بنقاط على المحور الرأسى . وعند ضرب عدد حقيقى وليكن (٣) عندما يمثل بنقطة على المحور الأفقى ، فى وحدة تخيلية ولتكن (ت) نحصل على عدد تخيلى تماماً وهو $٣ ت$ ، وهذا المقدار لا شك وأنه يتحدد على المحور الرأسى ، وعلى ذلك فان ضرب أى مقدار فى ت يناظر هندسيا الدوران عكس عقارب الساعة بزاوية قائمة (انظر شكل ١٠)

والآن اذا ضربنا $٣ ت$ مرة أخرى فى ت فسوف يحدث دوران آخر بمقداره ٩٠ درجة ، وبذلك تعود النقطة الناتجة مرة أخرى الى المحور الأفقى ولكنها تكون فى الجانب السالب هذه المرة :

$$\text{اذن } ٣ ت \times ت = ٣ ت^٢ = ٣ - \text{أو } ٢ ت = ٢ -$$



(شكل رقم ١٠)

ويكون من المفهوم ان نقول « ان مربع ت يساوى - ١ » بدلا من ان نقول « ان الدوران مرتين بزاوية قائمة فى كل مرة (كلاهما عكس حركة عقارب الساعة) يجعلك فى الاتجاه المقابل » .

وتنطبق نفس القاعدة بالطبع على الأعداد المركبة المهجنة . فبضرب $٣ + ٤ ت$ فى ت نحصل على ما يلى :

$$(٣ + ٤ ت) \cdot ت = ٣ ت + ٤ ت^٢ = ٣ ت - ٤ = -٤ + ٣ ت$$

وكما يتضح لنا من شكل (١٠) ، فإن النقطة (- ٤ + ٣ ت) تناظر النقطة ٣ + ٤ ت مقلوبة عكس اتجاه عقارب الساعة بمقدار ٩٠ درجة حول نقطة الأصل ، وبالمثل نجد أن الضرب في - (ت) لا يزيد عن كونه دورانا في اتجاه عقارب الساعة حول نقطة الأصل كما يظهر من شكل (١٠) وإذا كنت لا تزال شاعرا بسستار من الغموض يكتنف الأعداد التخييلية فربما أزحت هذا الستار بالتطبيق العملي على مشكلة رياضية بسيطة .

يحكى أن شابا عشر في ثراث أجداده القدماء على مخطوطة تبين مكان كنز دفين وجاء فيها :

« ابجر الى خط عرض ٠٠٠ وخط طول ٠٠٠٠ ، وستجد جزيرة مهجورة عند شاطئها الشمالى مرعى واسع (٦) بلا سور وبه شجرة وحيدة من البلوط وأخرى من الصنوبر . وستجد أيضا مشنقة كنا قد نصبناها لاعداء الخونة فابدأ السير من عندها متجها الى شجرة (٧) البلوط ، وعد خطواتك حتى اذا وصلت اليها در الى اليمين ٩٠° وسر عددا مماثلا من الخطوات ثم ضع وتدا عندما تقف وثبتته فى الأرض . والآن عد الى المشنقة ثم سر الى شجرة الصنوبر على أن تعد الخطوات وعندما تصل اليها استدر يسارا بزاوية قائمة وتأكد من سيرك عددا مماثلا من الخطوات ، ودق وتدا آخر على الأرض ، ابدأ الحفر فى منتصف المسافة بين التدين ، وستجد الكنز » .

لقد كانت التعليمات واضحة تماما ولا لبس فيها . ولذا استأجر صاحبنا مركبا وأبحر الى الجنوب ، ووجد الجزيرة ، والحقل وشجرة البلوط ، وشجرة الصنوبر ولكن للأسف الشديد كانت المشنقة قد اختفت فقد كانت الوثيقة مكتوبة منذ عهد بعيد جدا حتى أن الرياح والمطر والشمس قد حللت الخشب وأعادتة الى التربة دون أن يترك أثرا حنى للمكان الذى كان فيه .

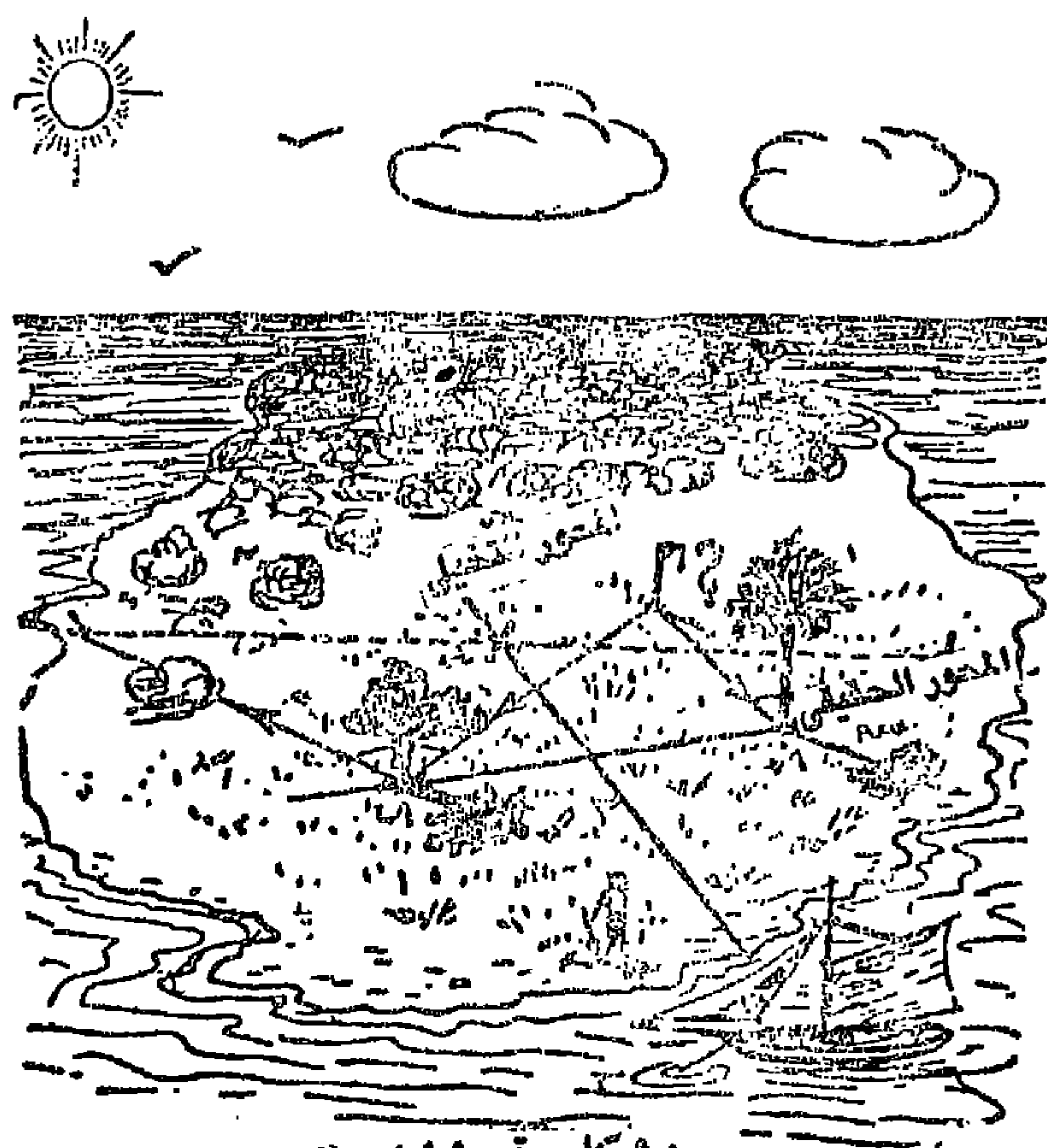
وأصاب اليأس مغامرنا الشاب ، ثم بدأ فى غضب جارف يحفر عشوائيا فى كل الحقل ، ولكن عبثا يحاول ، فقد كانت الجزيرة مترامية الأطراف ! .

ولذا عاد بخفى حنين ، وربما كان الكنز لا يزال قابعا هناك .
انها قصة مؤسفة ، ولكن أسفنا سيزداد اذا علمنا أن هذا الشاب

(٦) ذكرت المخطوطة رقم خط الطول ، وخط العرض ولكننا حذفناهما منا حفاظا على السر .

(٧) لقد غيرنا اسمى الشجرتين لنفس السبب . والواقع أن هذه الجزيرة الاستوائية لا بد وأن تنبت فيها أشجار من أنواع أخرى .

تخيل أن الجزيرة سطحا مستويا للأعداد المركبة ، وافرض أن الخط المستقيم الواصل بين الشجرتين هو أحد المحورين وليكن المحور الحقيقي ، والمستقيم العمودي النصف له هو (محاور الأعداد التخيلية) (شكل ١١) . وبأخذ نصف المسافة بين الشجرتين كوحدة قياس للأبعاد



(مستكمل رقم ۱۱) ۱۱

البحث عن الكنز بالأعداد التخيلية .

يمكن القول ان شجرة البلوط تقع على النقطة (- ١) على المحور الحقيقي .
 وأن شجرة الصنوبر تقع على النقطة (+ ١) على نفس المحور . ونحن
 لا نعرف المكان الذي كانت المشنقة موجودة به وبناء عليه سنحدد لها موقعا
 فرضيا ونرمز اليه بالحرف الاغريقي Γ (حرف جاما كبير) وهو يشبه
 المشنقة في شكله . ولما كانت المشنقة لا تقع بالضرورة على أحد المحورين
 فيمكننا اعتبار Γ عددا مريا :

∴ $I' = A + B$ والشكل رقم (١١) يوضح المقصود بالحرفين أ ، ب والآن لنقم ببعض العمليات الحسابية البسيطة واضعين في أذهاننا الضرب التخيلي كما ذكرناه آنفاً . فإذا كانت المشنقة عند I' وشجرة البلوط عند (- ١) فإن الفرق في المسافة والاتجاه بين المشنقة

وبالمرحلة الأولى = (١ -) < = (١ + I') وبالمثل فإن الفرق في المسافة والاتجاه بين المشنقة وشجرة الصنوبر يرمز إليه بالرمز ١ - < . وعند إدارة هذين البعدين بزاوية قائمة في اتجاه عقارب الساعة (يميناً) والعكس (يساراً) ينبغي طبقاً للقاعدة ضربهما في - ت ، وبذلك نستطيع تحديد الموضع الذي يجب دق الوتد فيه :

$$\text{موضع الوتد الأول (- ت) } [(١ + I') -] + ١ = \text{ت} \\ ١ - (I' + ١)$$

$$\text{موضع الوتد الثاني (+ ت) } (١ - I') + ١ = \text{ت} \\ ١ + (I' - ١)$$

وحيث أن الكنز مدفون في منتصف المسافة بينهما فيجب إيجاد نصف مجموع العددين المركبين السابق ذكرهما :

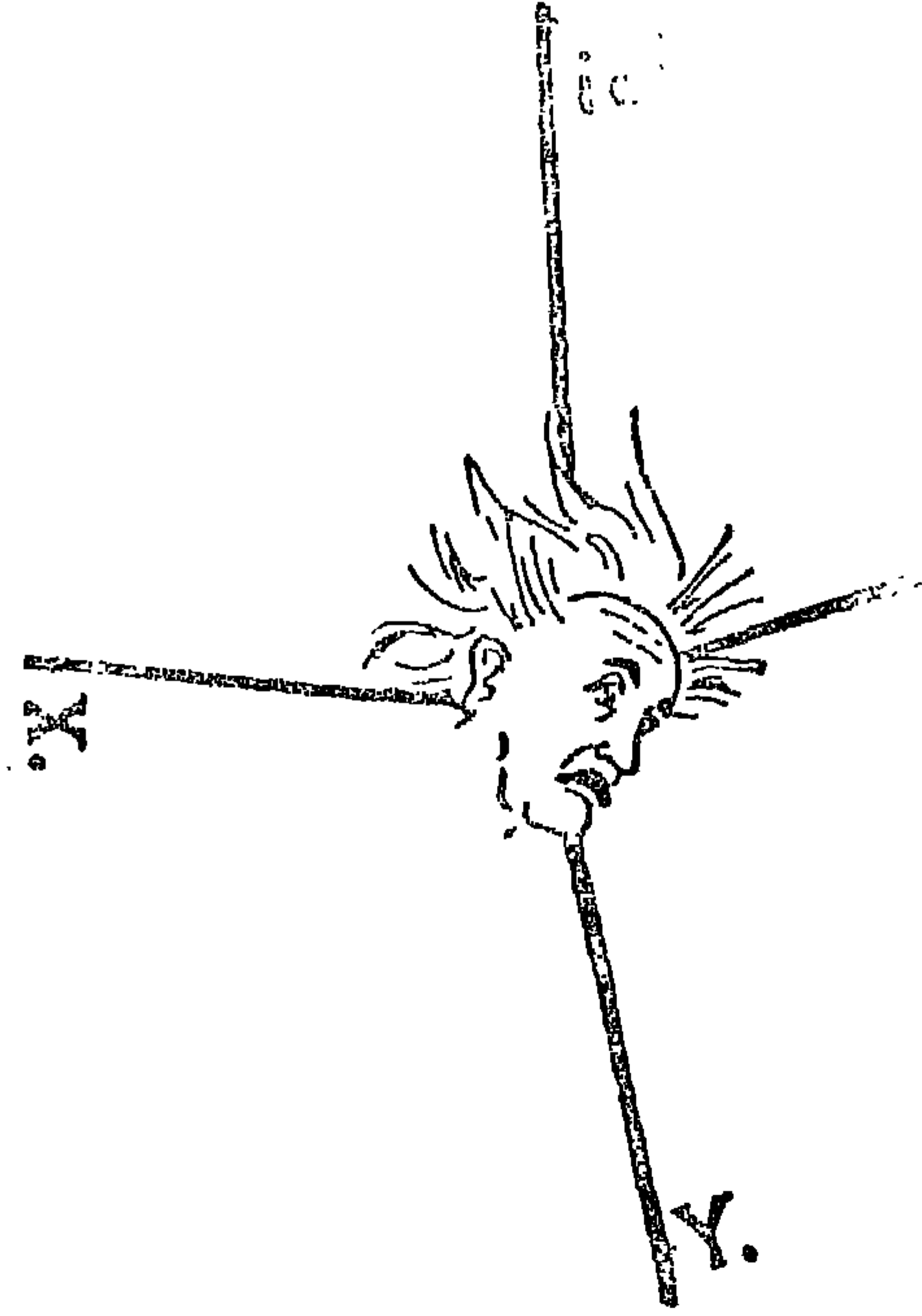
$$\therefore \frac{1}{2} [\text{ت} (I' + ١) + ١ + \text{ت} (I' - ١) - ١] \\ = \frac{1}{2} [\text{ت} + I' + ١ + \text{ت} - \text{ت} - I' - ١] \\ = \frac{1}{2} (٢ \text{ت}) = \text{ت}$$

وهكذا نجد أن موضع المشنقة المشار له بالحرف I' يقع في موضع ما على الطريق ، وبإمكاننا الآن بغض النظر عن موقع المشنقة أن نحدد مكان الكنز عند النقطة + ت .
نحدد مكان الكنز عند النقطة + ت .

أذن لو كان بمقدور صاحبنا المغامر الشاب أن يجري هذه العمليات الحسابية البسيطة لما احتاج إلى حفر الحقل بأكمله ، بل كان في استطاعته أن يبحث عن الكنز في النقطة المشار إليها بخطين متقاطعتين (X) في شكل (١١) ولعثر عليه هناك .

وإذا كنت لا تزال في شك من أن موضع المشنقة ليس ضرورياً إطلاقاً للعثور على الكنز ، أحضر ورقة وضع علامتين مكان الشجرتين وحاول أن تنفذ التعليمات التي نصت عليها الرسالة المخطوطة بافتراض مواضع متعددة للمشنقة . وسوف تجد أن مكان الكنز لن يختلف في النهاية عن رقم (+ ت) على المستوى (السطح) المركب ! .

وهناك كنز آخر يرجع الفضل في اكتشافه إلى الجذر التربيعي للعدد (١ -) وهو الاكتشاف المذهل الذي مؤداه أن فضلاءنا العادي الثلاثي الأبعاد يمكن دمج الزمن معه في صورة رباعية الأبعاد ، وتخضع هذه الصورة لقواعد الهندسة رباعية الأبعاد . وسوف نعود إلى هذا الاكتشاف مرة أخرى في أحد فصول الكتاب التالية حيث نناقش أفكار « ألبرت أينشتاين » ونظريته المعروفة بالنسبية .



الجزء الثاني

الفضاء والزمن وأينشتين

الفصل الثالث

الخواص غير العادية للفضاء (*)

١ - الأبعاد والاحداثيات :

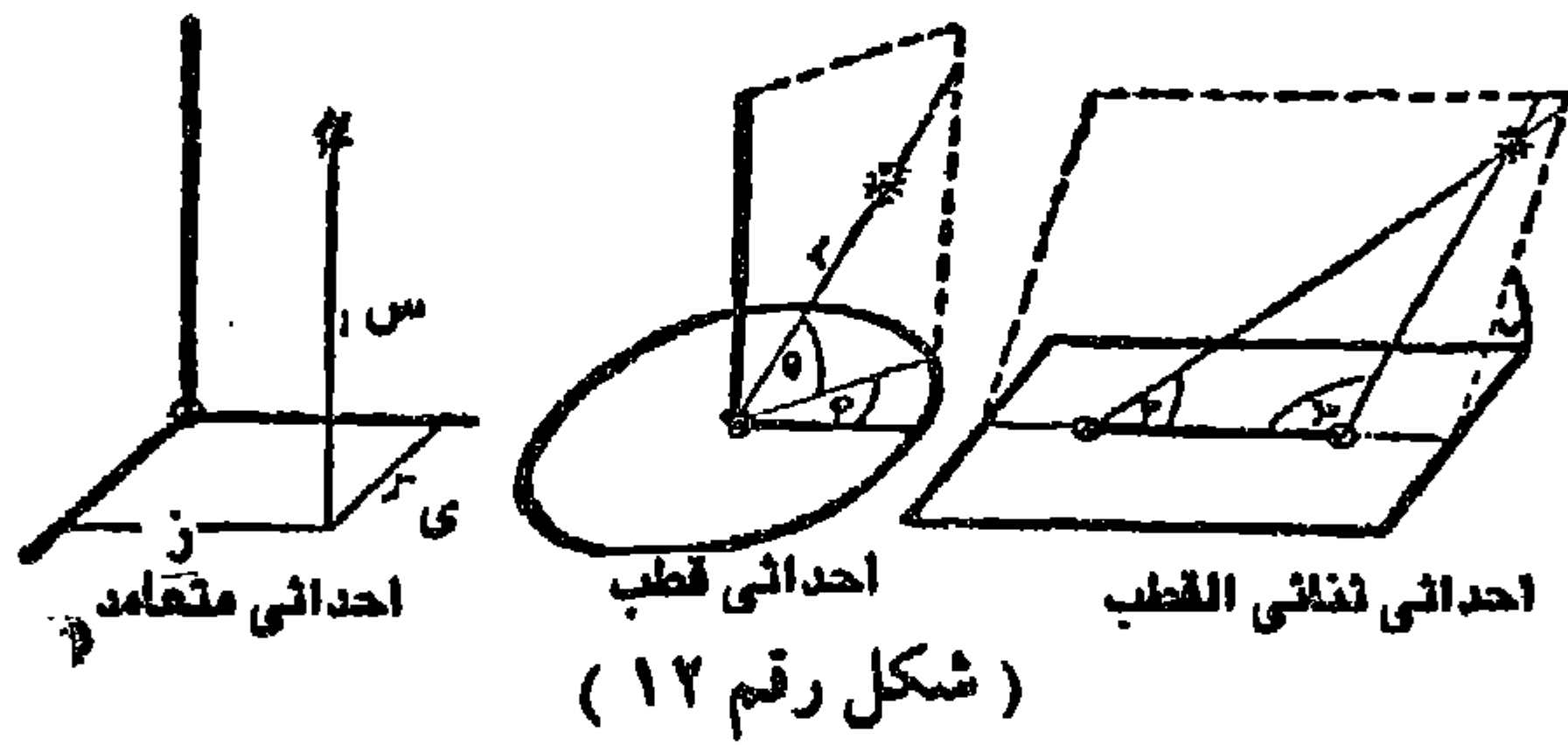
كلنا يعلم ما هو الفضاء ، على أننا نقع فى حرج اذا طلب منا وضع تعريف دقيق له ، وربما قلنا أن الفضاء هو ما يحيط بنا ، ونستطيع أن نتحرك فيه الى الأمام أو الخلف ، والى اليمين أو اليسار والى أعلى أو أسفل ووجود هذه الاتجاهات الثلاثة متعامدة على بعضها هو من أهم خواص الفضاء الطبيعى الذى نعيش فيه ، فنحن نقول ان للفضاء ثلاثة أبعاد ، بالاستعانة بها يمكن تحديد أى موقع فيه . فاذا كنا فى زيارة لمدينة غريبة وسألنا شرطى المرور عن موقع شركة ما ، ربما قال « سر جنوبا وبعد خمس عمارات در يميننا وستجدها فى الدور السابع فى ثالث مبنى هناك » . وهذه الأرقام الثلاثة تعرف عادة بالاحداثيات (Co-ordinates) وهى فى هذه الحالة تشير الى العلاقة بين شوارع المدينة ، وطوابق المبنى بالنسبة الى نقطة الأصل عند شرطى المرور . ومن الواضح على أية حال أنه من الممكن تحديد الاتجاهات لنفس المكان من نقطة أصل أخرى ، باستخدام نظام الاحداثيات الذى يمكن أن يعبر بدقة عن العلاقة بين النقطة الأصلية الجديدة وغاية الوصول ، وان الاحداثيات الجديدة يمكن التعبير عنها باستخدام الاحداثيات القديمة

(*) تترجم كلمة Space بالمكان والفراغ والفضاء والميز ، وقد فضلت استخدام كلمة فضاء هنا للتعبير عن جميع حالاتها المكانية لأن كلمة مكان المعتادة لا تعبر بدقة عن المعنى فى اللفظة الأصلية (المترجم) .

بالاستعانة بأجراء رياضي مبسط بشرط معرفة الموقع النسبي للنظام
الاحداثي الجديد بالنسبة للاحداثي القديم وتعرف هذه العملية **بتحويل**
الاحداثيات transformation of co-ordinates وربما أضفنا

أيضا في هذا السياق أنه ليس من الضروري على الإطلاق أن نعبر عن
الاحداثيات الثلاثة باستخدام أرقام للإشارة الى مسافات معينة ، بل في
الحقيقة من الأنسب في بعض الحالات أن نلجأ الى استخدام احداثيات
الزوايا .

ولذا فان العناوين ، في نيويورك مثلا ، تتحدد غالبا بنظم الاحداثيات
المتعامدة التي تتمثل في الشوارع والطرق . بينما تتحدد العناوين في
موسكو (روسيا) وفقا لنظم الاحداثيات القطبية . فهذه المدينة العريقة
نشأت حول الحصن المركزي للكرملين ، بنظم شوارع نصف قطرية متشعبة
من المركز ، وبها شوارع على شكل دوائر مركزها واحد ، ولذا من الطبيعي
عند وصف مكان فيها أن نقول : انه على بعد عشرين عمارة في الاتجاه
الشمالي الغربي من سور الكرملين .



الاحداثيات ثنائية القطبين والاحداثيات القطبية
والاحداثيات المتعامدة

ومن الأمثلة النموذجية لنظم الاحداثيات المتعامدة والقطبية ، مبنى
وزارة البحرية الأمريكية ، ومبنى وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون)
في واشنطن (بمقاطعة كولومبيا) . وهي من المباني المعروفة لكل من
كانت له علاقة بالعمل الحربي أثناء الحرب العالمية الثانية .

في شكل (١٢) هناك عدة أمثلة تبين كيفية تحديد موقع نقطة في
فضاء بطرق متعددة باستخدام ثلاثة احداثيات ، سواء كانت من المسافات
أو الزوايا . ولكن أيا كان النظام الذي نختاره فلا بد من توافر ثلاث
معلومات طالما أننا نتعامل مع فضاء ثلاثي الأبعاد .

وعلى الرغم من الصعوبة التي نواجهها (مع مفهومنا للفضاء الثلاثي
الأبعاد) اذا ما حاولنا أن نتخيل فضاء أعظم يحتوى على أكثر من ثلاثة

أبعاد (بنظر النظر عن أن هذا الفضاء موجود كما سنرى فيما بعد) فإن محاولتنا لتخيل فضاء يحتوى على أقل من ثلاثة أبعاد تبدو أكثر سهولة لنا . فالسطح المستوى ، و سطح الجسم الكروي أو أى سطح آخر على سبيل المثال كلها فضاءات جزئية ثنائية الأبعاد ، طالما أن موضع أى نقطة على هذه السطوح يتحدد برقمين لا أكثر . وبالمثل فإن الخط (منحنيا كان أو مستقيما) يعتبر فضاء جزئيا أحادى البعد ، كما أن النقطة الواحدة هى فضاء جزئى بعده صفر ، إذ أنه لا يمكن وجود موضعين مختلفين على نقطة واحدة . ولكن من ذا الذى يهتم بأمر النقاط على أية حال ! .

ولما كنا من المخلوقات ثلاثية الأبعاد فإننا سنجد سهولة أكبر فى تفهم الخواص الهندسية للخطوط والسطوح التى ننظر إليها « من الخارج » عن فهم للخواص المشابهة لخواص الفضاء ثلاثى الأبعاد الذى نعتبر نحن أنفسنا جزءا منه مما يفسر السهولة التى نجدها فى فهم المقصود بالخط المنحنى أو السطح المنحنى فى حين نجد صعوبة فى تفهم العبارة التى مؤداها أن الفضاء الثلاثى الأبعاد يمكن أيضا أن يكون منحنيا .

ومع ذلك فإن قليلا من التدريب والفهم للمعنى الحقيقى لكلمة « الانحناء » يجعلنا أكثر قدرة على ادراك مفهوم الفضاء المنحنى ثلاثى الأبعاد ببساطة . وقبل أن ننتهى من الفصل القادم سوف نجد (نأمل ذلك !) أن بمقدورنا الحديث ببساطة عن مفاهيم تبدو لأول وهلة مخيفة وهى تندرج تحت اطار الفضاء المنحنى ثلاثى الأبعاد .

ولكن قبل أن نناقش ذلك ، دعونا نحاول ممارسة شئ من الرياضة الذهنية مع بعض ثوابت الفضاء الثنائى والأحادى بالاضافة الى الفضاء الثلاثى المعتاد .

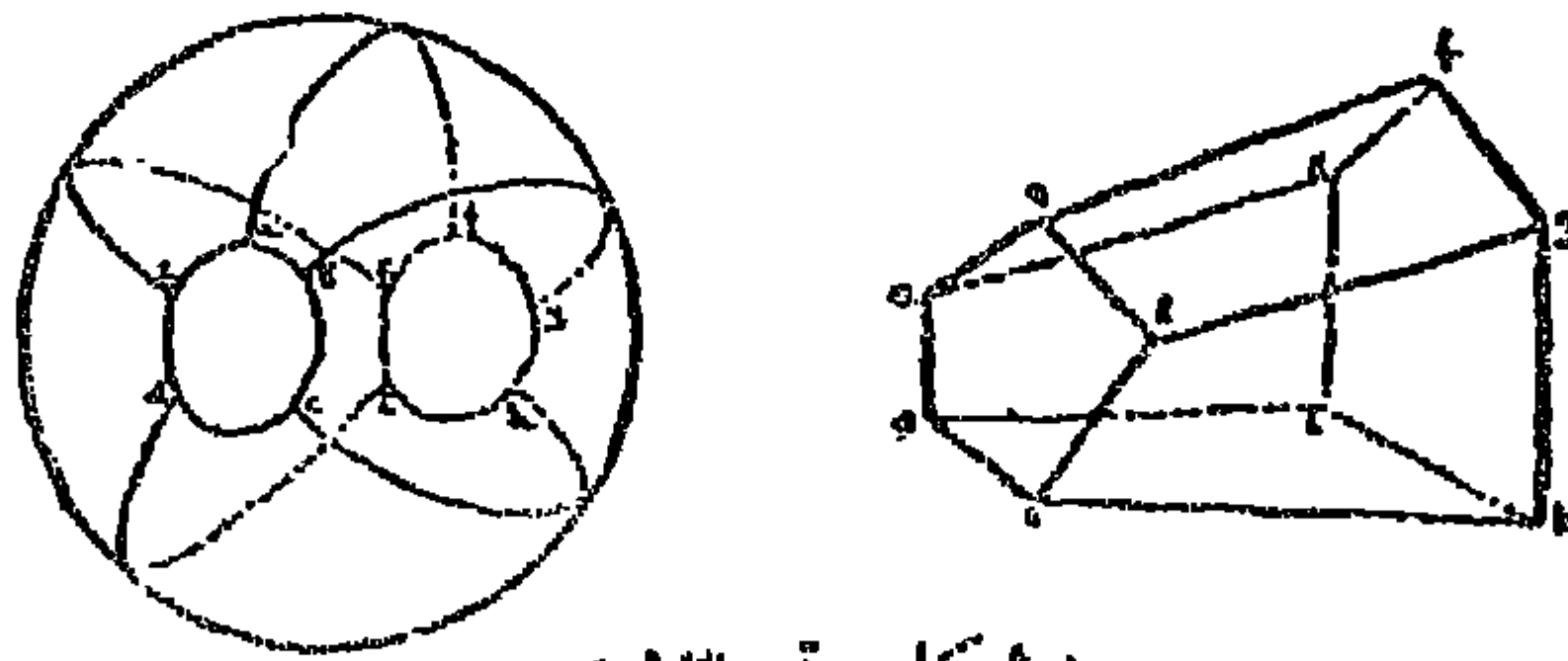
٢ - هندسة بدون قياسات (١) :

على الرغم من أن ذكرياتك عن الهندسة التى تعلمتها فى أيام الدراسة بوصفها فرعاً من فروع علم قياس الأبعاد الفراغية تنحصر فى أنها ذلك العلم الذى يحتوى أساسا على عدد هائل من النظريات الخاصة بالعلاقات الرقمية بين المسافات والزوايا المختلفة (كما فى نظرية فيثاغورث عن أضلاع المثلث القائم الزاوية مثلا ٠٠٠٠) ، والواقع أن كثيرا من أهم خصائص الفضاء لا يتطلب أى قياس سواء بالنسبة للأبعاد ،

(١) كلمة geometry (أو الهندسة) هى كلمة مشتقة من كلمتين يونانيتين وهما ge بمعنى أرض أو بالأحرى سطح الأرض ، وكلمة metrein وهى فعل بمعنى يقيس . ومن الواضح أنه عندما صيغت هذه الكلمة كان اهتمام الإغريق منصبا على موضوع قياس الأراضى والمقارنات .

أو الزرايا من أى نوع كانت . ويسرف فرع الهندسة الخاص بهذه الأمور بتحليل الموقع أو الطوبولوجيا (٢) ويعتبر واحدا من أشد أفرع الرياضيات إثارة وصعوبة .

ولكى نعطي مثالا بسيطا على مشكلة طوبولوجية ، دعونا نفترض أن هناك سطحاً هندسياً مقفلاً ، وليكن سطح كرة مقسم بشبكة من الخطوط إلى عدد من المناطق المنفصلة . وبوسعنا أن نحصل على هذا الشكل بتحديد عدد عشوائى من النقاط على سطح كرة ، ثم نقوم بالتوصيل بينها بخطوط غير متقاطعة فما هى العلاقة بين هذا العدد من النقاط الأصلية والخطوط التى تمثل حدودا بين المناطق المتلاصقة ، وعدد المناطق نفسها ؟ ومن الواضح قبل أى شئ أن سطوح الأجسام شبه الكروية مثل ثمرة القرع ، أو المستطيلة كالخيار ستحتوى على نفس العدد من النقاط والخطوط ، والمناطق الموجودة على سطح كامل الاستدارة كالكرة . وعمليا نستطيع أن نحصل على أى نوع من السطوح المغلقة بالتأثير على بالون من المطاط عن طريق شده ، أو الضغط عليه ، وبأى طريقة نريدها ما عدا قطعه أو تمزيقه وسنجد أن أى شكل نحصل عليه لن يؤثر على اجابتنا أدنى تأثير ، وتعد هذه الحقيقة مناقضة تماما لحقائق الهندسة العادية عن العلاقات بين الأرقام (مثل العلاقات الموجودة بين الأبعاد الخطية ، والمساحات المسطحة وأحجام الأجسام الهندسية) ، فالحقيقة أن هذه العلاقات تختل ماديا اذا طرقتنا مكعبا وحولناه الى منشور متوازي الأضلاع ، أو ضغطنا على كرة وحولناها الى قرص أشبه بالفطيرة .



(شكل رقم ١٣)

كرة مقسمة جزئياً ومحوطة الى جسم متعدد السطوح

(٢) والكلمة Topology تعنى فى اللاتينية والاغريقية على الترتيب علم دراسة المواقع ، وهى تختلف عن الطوبوغرافيا topography التى تعنى السمات السطحية لموضع أو اقليم .

ويمكننا أيضا أن نفعل شيئا آخر في هذا الجسم الكروي المنقسم إلى عدد من الأقسام المنفصلة وهو أن نحول كل قسم إلى مساحة منبسطة بحيث تصبح الكرة متعددة السطوح ، وتصبح الحواف الفاصلة بين المناطق حوافا لهذا الجسم والنقاط الأصلية رؤوسا له .

والآن بمقدورنا أن نعيد صياغة المشكلة السابقة - دون أن نغير شيئا فيها - إلى سؤال عن العلاقة بين عدد رؤوس ، وحواف وأوجه الجسم متعدد السطوح .

وفي شكل (١٤) تبين خمسة من متعددات السطوح المنتظمة (polyhedrons) ، أى الأجسام التى يتساوى كل سطح فيها مع الآخر فى عدد الرؤوس والأضلاع ، ما عدا جسما واحدا مرسوما ببساطة من الخيال وهو ذو طبيعة هولية (غير منتظم الأضلاع) وفى كل من هذه الأجسام الهندسية نستطيع أن نحصى عدد الرؤوس ، والحواف والأوجه . هل توجد علاقة بين هذه الأرقام الثلاثة ؟ وإن وجدت فما هى ؟ ويمكننا عن طريق العد المباشر أن نضع هذا الجدول .

الجسم	ر عدد الرؤوس	ح عدد الأحرف	و عدد الأوجه	ر + و	ح + ٢
منشور ثلاثى (هرم)	٤	٦	٤	٨	٨
منشور سداسى (مكعب)	٨	١٢	٦	١٤	١٤
منشور ثمانى	٦	١٢	٨	١٤	١٤
منشور عشرونى	١٢	٣٠	٢٠	٣٢	٣٢
منشور اثنا عشرى	٢٠	٣٠	١٢	٣٢	٣٢
(أو مخمس اثنا عشرى)					
منشور هولى	٢١	٤٥	٢٦	٤٧	٤٧

فى البداية تبدو الأرقام الموجودة تحت الأعمدة الثلاثة (ر ، ح ، و) وكأن لا علاقة محددة بينها . ولكن بعد قليل من التفكير نجد أن مجموع الأرقام فى ر ، ويزيد دائما على العدد فى العمود ح باثنين .

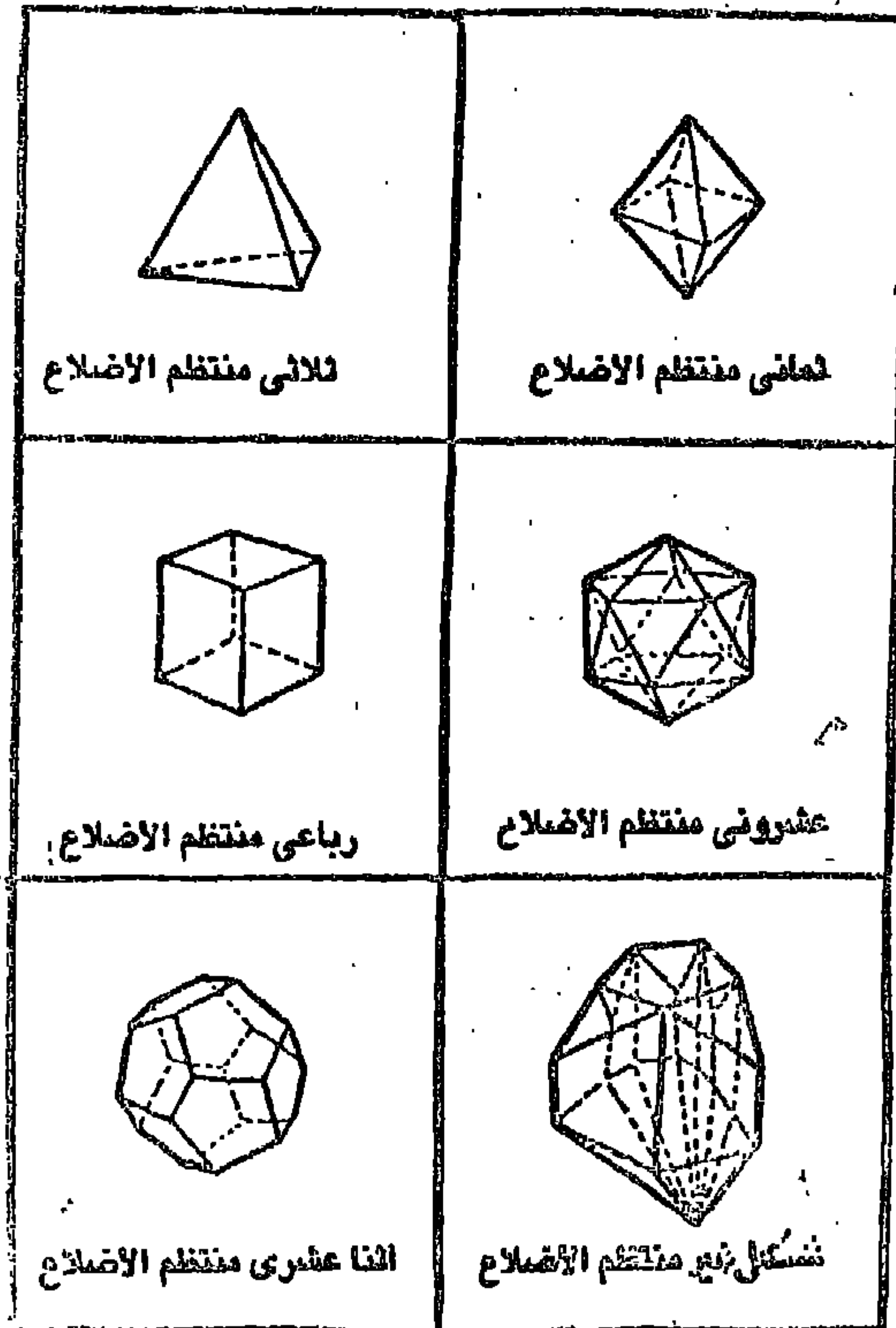
وهكذا يمكننا صياغة علاقة رياضية كالتالى :

$$ر + و = ح + ٢$$

هل تنطبق هذه العلاقة على الاجسام الموجودة فى شكل (١٤) فحسب ؟ أم أنها تنطبق أيضا على أى شكل متعدد السطوح ؟ إذا حاولت رسم عدد آخر من هذه الأجسام غير تلك الموجودة فى شكل (١٤) ثم قمت بعد ذلك بإحصاء الرؤوس والحواف والأوجه يتبين لك أن العلاقة السابقة تصح فى جميع الحالات .

من الواضح اذن أن $r + v = c + 2$ هى نظرية رياضية عامة ذات طبيعة طوبولوجية ، طالما أن التعبير عن العلاقة هنا لا يعتمد على قياس أطوال الأضلاع ، أو مساحات الأوجه ، ولكنه يقتصر على عدد الوحدات الهندسية المختلفة (وهى الرؤوس والأضلاع والأوجه) .

وقد كان الرياضى الفرنسى « رينيه ديكارت » أول مكتشف للعلاقة بين رؤوس وأضلاع وأوجه متعددات السطوح وكان ذلك فى القرن السابع



(شكل رقم ١٤)

خمس أشكال متعددة الأضلاع (وهى الأشكال الممكنة) وشكل هولى

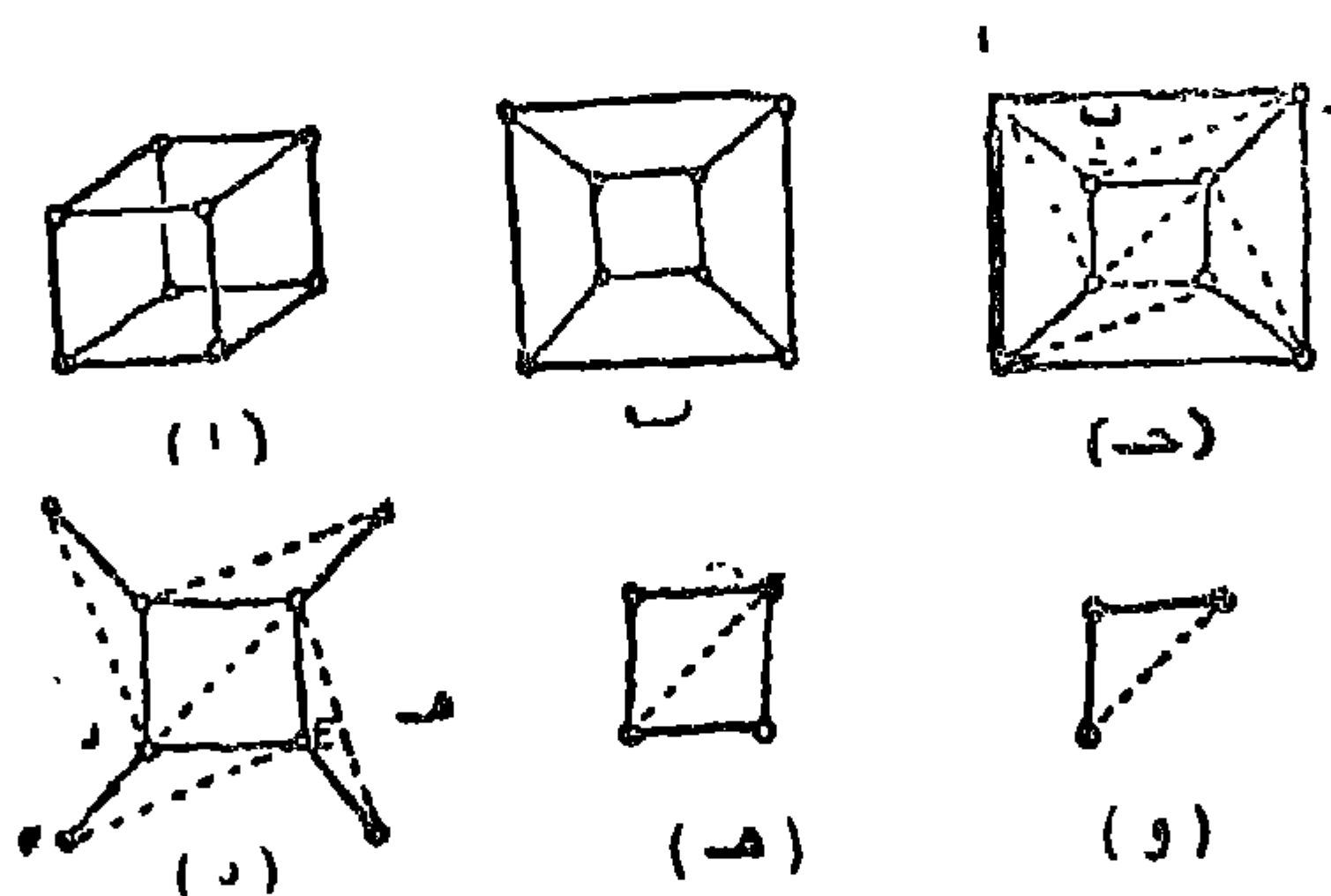
(غير منتظم)

عشر الا أن البرهان وضع بعد ذلك على يد رياضي عبقري آخر هو « ليونارد إيولر » فسمى باسمه (برهان إيولر) .

وفيما يلي نجد البرهان الكامل لنظرية إيولر ، وفقا لنص مأخوذ من كتاب « ر . كورانت » و « د . روبين » ما هي الرياضيات ؟ (١) ، وذلك لنوضح كيفية القيام بأشياء من هذا القبيل .

حتى نبرهن على قانون إيولر دعونا نتصور أحد متعددات السطوح البسيطة المفرغة من الداخل والمصنوعة من المطاط (شكل ١٥ أ) . وبنزع أحد أوجهه نستطيع أن نفرده عن طريق الشد على سطح مستو . وسوف تتغير مساحة أوجه وزوايا هذا الشكل بالطبع بعد هذه العملية حتى يتحول الى (شكل ١٥ ب) .

على أن عدد رؤوسه وأضلاعه سيظل في الشكل الجديد مساويا لنفس العدد في الشكل الأصلي في حين تنقص الوجوه وجها واحدا وهو الذي انتزعناه من قبل . والآن سنبين أن معادلة هذا السطح هي $r - h + v = 2$ ، وأن إضافة الوجه المنتزع تجعلنا نحصل على المعادلة الأصلية $r - h + v = 2$.



شكل رقم (١٥)

برهان نظرية « إيولر » على المكعب ويمكن استخدام نفس البرهان مهما كان الشكل .

« في البداية نقوم بتثليث الشكل المستوى بالطريقة الآتية : نرسم قطرا في أحد وجوه الشكل غير المثلثة أصلا مما يؤدي الى

(٣) المؤلف يتقدم بالشكر الى الأساتذة « د . كورانت » و « د . روبين » وكذا المطبعة جامعة أكسفورد على السماح له بإعادة تقديم القطعة التالية . ولهؤلاء القراء الذين أصبحوا مهتمين بمشكلات الطوبولوجيا بناء على الأمثلة القليلة التي سردناها هنا ، يمكنكم أن تجدوا معالجة أكثر تفصيلا لهذا الموضوع في كتاب (What Is Mathematics ?)

زيادة كل من ح ، و بواسطة وبذلك لا تتأثر ر - ح + و ، ثم نستمر في رسم الأقطار حتى يصبح الشكل كله عبارة عن مثلثات (شكل ١٥ ج) . وفي الشبكة المثلثة يظل المقدار ر - ح + و ثابتا اذ لا يتأثر برسم الأقطار .

« وتكون أضلاع بعض المثلثات واقعة على حدود الشبكة الأصلية ، وبعض المثلثات مثل أ ب ج لا يكون لها الا ضلع واحد هو نفسه أحد حدود الشبكة بينما يكون لبعضها الآخر ضلعان . نأخذ أى مثلث من هذه المثلثات المذكورة ونحذف منه الأضلاع التي لا تنتمى أيضا الى مثلث آخر (شكل ١٥ د) ، وبذلك فائنا نزيل من المثلث أ ب ج الضلع أ ج والوجه تاركن الرؤوس أ ، ب ، ج والضلعين أ ب ، ب ج . بينما نزيل من المثلث د ه و الضلعين د و ، و ه و والرأس و .

ان ازالة مثلث من النوع (أ ب ج) تؤدي الى نقصان و ، ح بمقدار (١) بينما تبقى و دون تأثر ، وهكذا تبقى ر - ح + و كما هي ، أما ازالة مثلث من نوع (د ه و) فتؤدي الى نقصان ر بمقدار (١) ، ح بمقدار (٢) ، و بمقدار (١) وبذا أيضا يظل المقدار ر - ح + و دون تغير . وبأداء هذه العمليات في تتابع حسن الاختيار نستطيع أن نزيل المثلثات ذات الأضلاع الواقعة على حدود الجسم (هذه المثلثات تتغير مع كل ازالة) حتى يتبقى لنا مثلث واحد في النهاية له ثلاثة أضلاع وثلاثة رؤوس ووجه واحد في هذا الشكل البسيط يكون ر - ح + و = $3 - 3 + 1 = 1$ ولكن كما رأينا من قبل فان ر - ح + و لم تتغير مع ازالة المثلثات ، اذن فلا بد أن ر - ح + و كانت 1 أيضا في الشكل الأصلي وبالتالي تتساوى أيضا مع متعدد السطوح الذي ينقص وجهها واحدا ، ونستنتج من ذلك أن ر - ح + و = 2 بالنسبة للشكل الكامل وهذا يكمل صيغة « ايولر » .

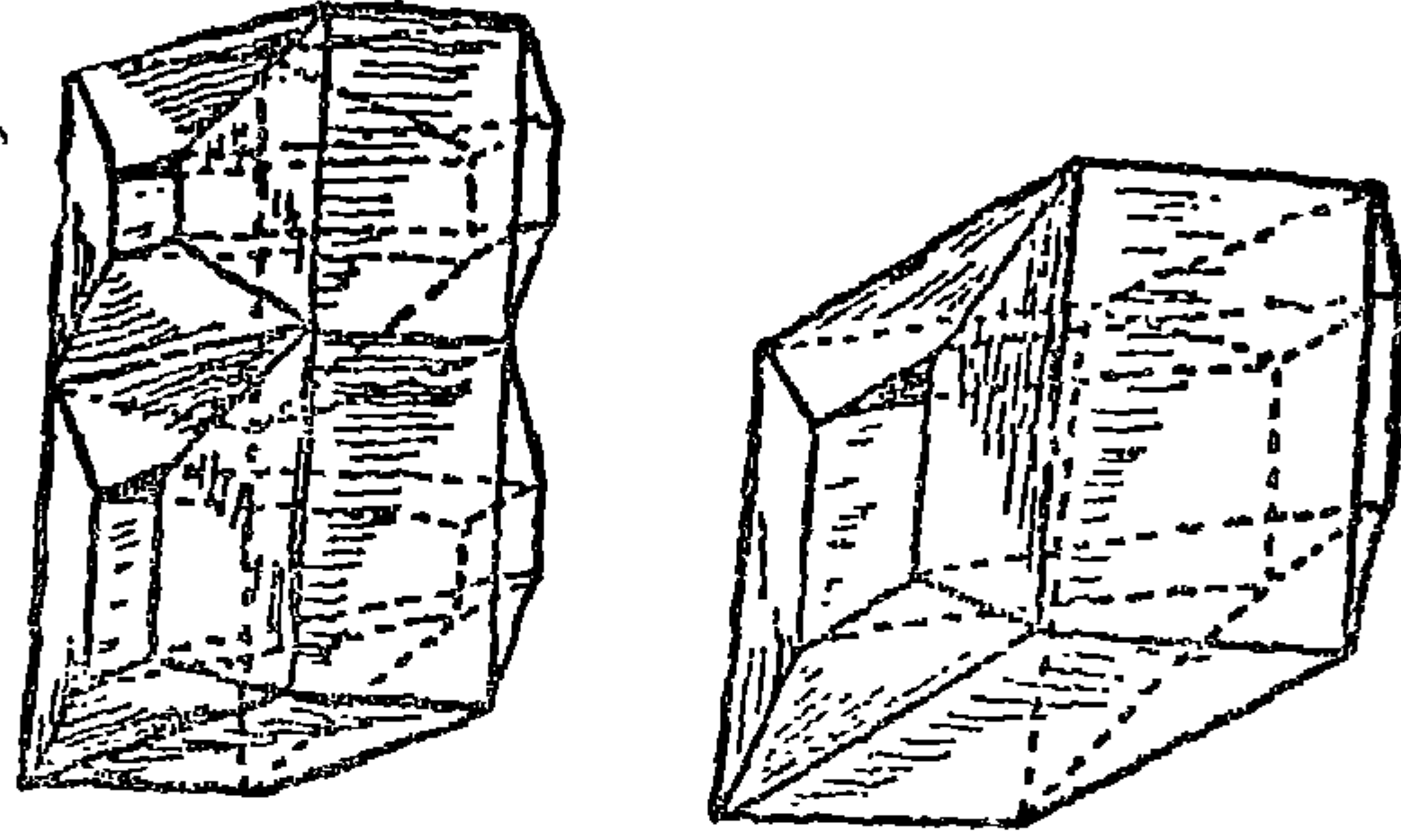
ومن النتائج المثيرة لقانون ايولر : ان المجسمات المنتظمة متعددة الأسطح لا يمكن أن تزيد أشكالها على خمسة لا غير كما في شكل (١٤) .

وبامعان النظر فيما ورد في الصفحات السابقة نجد أننا عند رسمنا الأشكال السابقة (على اختلافها) كما نراها في شكل (١٤) ، وأيضا في الجدول الحسابي الذي أثبتنا به صحة نظرية ايولر ، افترضنا افتراضا ضمنيا واحدا ، كان من شأنه الحد من اختيارنا الى درجة كبيرة ، فقد اقتصرنا على متعددات السطوح الحالية - اذا جاز القول - من الثقوب وعندما نتحدث عن الثقوب فاننا لا نعني بذلك مثل هذا النوع الذي

يحدث في البالون ، ولكن نقصد نوعا آخر مثل ذلك الذى يحدث في الكعكة ، أو ذلك الفراغ الذى يكون داخل الاطار الكاوتشوك للعجلة .

ان نظرة على الشكل رقم (١٦) سوف توضح لنا الأمر ، ففي الشكل نجد جسمين هندسيين مختلفين ، وكلاهما لا يزيد على أى جسم في شكل (١٤) من حيث أنهما متعدد السطوح .

والآن لنر ما اذا كانت نظرية أيولر تصح هنا أم لا : في الحالة الأولى يمكن أن نعد ١٦ رأسا ، ٣٢ ضلعا ، ١٦ وجها . أى $R + V = 32$ بينما $H + 2 = 34$ وفي الحالة الثانية يوجد ٢٨ رأسا ، ٦٠ ضلعا ، ٣٠ وجها . اذن $R + V = 58$ في حين يكون $H + 2 = 62$ وتفشل القاعدة ثانيا !! .



(شكل رقم ١٦)

مكعبان عاديان بهما ثقب أو ثقبان ، والوجوه ليست مربعة تماما هنا ولكن هذا ليس مهما في الطوبولوجيا كما رأينا من قبل .

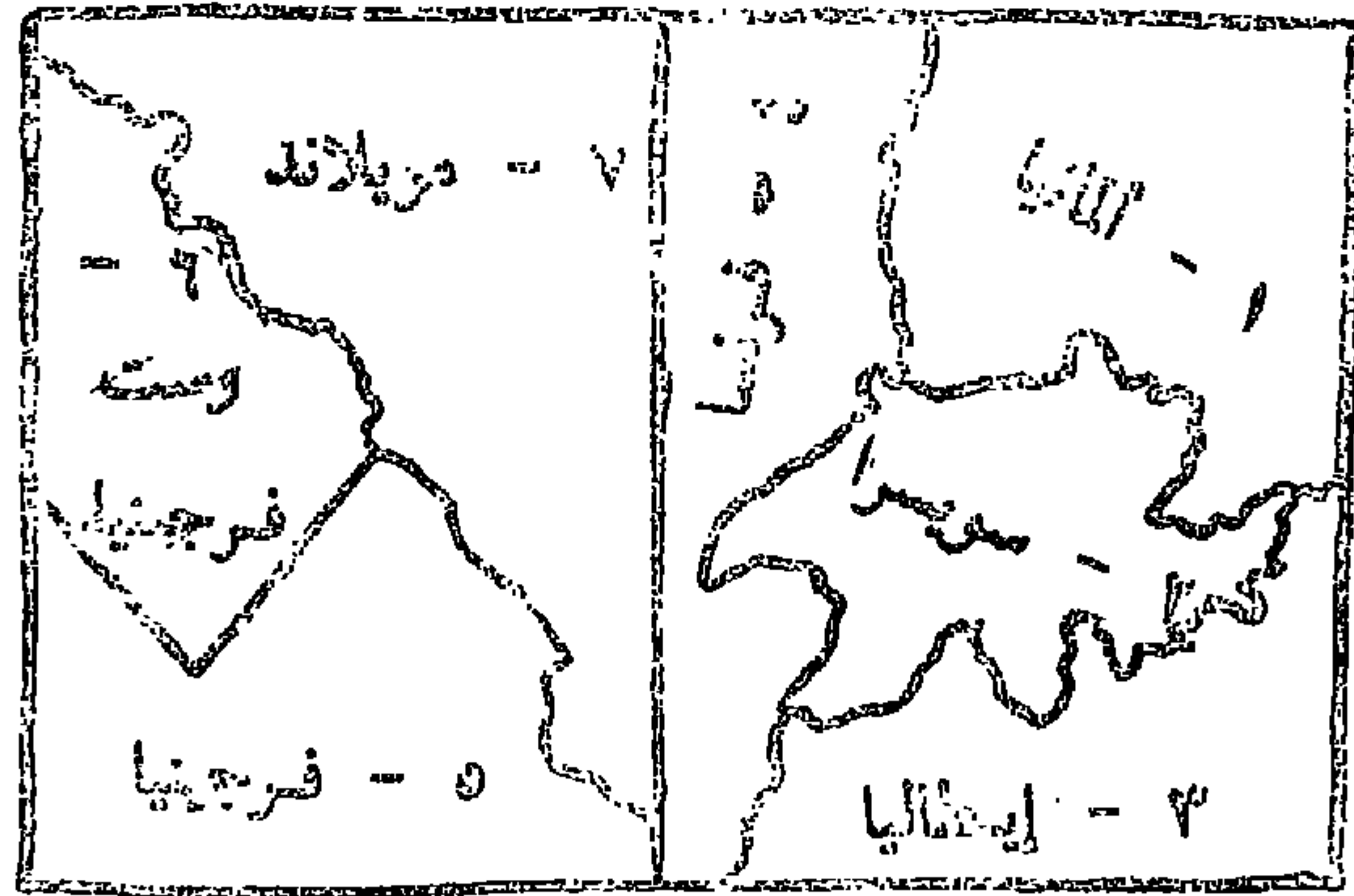
وما السبب في ذلك ؟ ، ولماذا لا تنطبق نظرية أيولر على هذه الحالات ؟

ان المشكلة تكمن بالطبع في أن كافة متعددات السطوح التى ناقشناها سابقا يمكن أن تشبه كرة القدم أو البالون ، بينما كان الجسمان السابقان الجديان أشبه باطار العجلة ، أو إحدى المصنوعات المطاطية المعقدة ، فالبرهان الرياضى السابق ذكره لا ينطبق على متعددات السطوح من أمثال الشكل السابق لأن أجسام هذه الأشكال لا يمكن أن تطبق عليها العمليات اللازمة للبرهان حيث قد « طلب منا أن نقطع أحد الوجوه للشكل المفرغ متعدد السطوح وأن نحور شكل السطح الباقي حتى يصبح مستويا أو ممددا » .

واذا ما أخذت كرة قدم وأزلت جزءا من سطحها باستعمال المقص لن تجد صعوبة في تحقيق المطلوب بعد ذلك . ولكن هذا لا يمكن فعله مع الاطار بنجاح مهما حاولت ، فاذا لم تقتنع بالنظر الى شكل (١٦) أحضر اطارا قديما وجرب بنفسك .

ولكن لا تحسب أنه لا توجد علاقة بين و ، ر ، ح لمتعددات السطوح المعقدة الشكل، فهناك علاقة بينها وان كانت مختلفة عن السابقة، فبالنسبة للشكل الذي يشبه البقسماط الحلقي أو الطارة أو الجسم الحلقي فالعلاقة تكون فيه $R + C = W$ ، في حين يتغير هذا القانون بالنسبة الى المجسمات الشبيهة بشكل (١٦) $R + W = C - 2$ وبصفة عامة تكون العلاقة $R + W = C - 2$ حيث ن عدد الثقوب .

ومن المشكلات الطوبولوجية ذات العلاقة الوثيقة بنظرية أيولر ما يعرف بـ « مشكلة الألوان الأربعة » . افترض أن لدينا مسطحا كرويا مقسما الى عدد من المناطق المنفصلة . وطلب منا أن نلون هذه المناطق بحيث لا يكون لمنطقتين متجاورتين (أى على حدود مشتركة) نفس اللون . فما هو أقل عدد من الألوان المختلفة الممكن استخدامها في مثل هذا العمل ؟ من الواضح أن لونين فقط لا يكفيان بصفة عامة ، ذلك أن لدينا ثلاثة حدود لمناطق مختلفة ملتقية في نقطة واحدة (مثلا في فيرجينيا ، ووست فرجينيا ، ومرييلاند على خريطة الولايات المتحدة شكل ١٧) .



(شكل رقم ١٧)

خريطة طوبولوجية لولايات مرييلاند وڤيرجينيا ووست فرجينيا (يسارا) .
وسويسرا وفرنسا وألمانيا وإيطاليا (يميناً) .

(*) نترء مستدير

كما يسهل أيضا أن نجد مثالا يتطلب أربعة ألوان (سويسرا في الفترة التي كانت النمسا فيها خاضعة لألمانيا (شكل ١٧) (٤) .

ولكن مهما حاولت لن تستطيع أن ترسم خريطة من الخيال على سطح كرة أو على ورقة مستوية بحيث تحتاج فيها الى أكثر من أربعة ألوان (٥) . ويبدو أنه مهما كانت الخريطة معقدة ، فإن أربعة ألوان تكفى دائما لتجنب أى لبس على الحدود .

اذن ، اذا صحت العبارة السابقة فلا بد من أننا نستطيع التوصل الى برهان رياضى لها ، ولكن هذا البرهان استعصى على أجيال الرياضيين حتى وقتنا هذا . وها نحن بازاء حالة رياضية لا شك فيها عمليا غير أن أحدا لا يعرف لها برهانا . وقصارى ما أمكن التوصل اليه رياضيا أن العدد الكافى من الألوان هو خمسة . وهذا البرهان مبنى على علاقة أيولر التي طبقت على عدد من الدول وعدد من الحدود وعدد من النقاط التي تلتقى فيها ثلاث أو أربع دول . . الخ .

وسوف لا نتعرض لهذا البرهان بسبب شدة تعقيده كما أنه سيبعدنا عن موضوع البحث الرئيسى محل المناقشة . ولكن يستطيع القارئ أن يجده فى مختلف كتب الطوبولوجيا فيقضى ليلة ممتعة (أو ربما ليلة مسهدة) فى التأمل فيه .

وعليك اما أن تثبت أنه ليس فقط خمسة ألوان ، بل وأربعة ألوان تكفى لتلوين أى خريطة ، أو اذا كنت تشك فى صحة هذه العبارة واستطعت أن ترسم خريطة تحتاج الى أكثر من أربعة ألوان فسوف يؤدى نجاحك فى أى من هاتين المحاولتين الى تسجيل اسمك فى حوليات الرياضة البحتة على مدى قرون المستقبل .

ومما يبعث على العجب أن مشكلة التلوين التي استعصت على الحل فوق السطح الكروى أو المستوى ، تجد حلا لها بشكل بسيط نسبيا على الأسطح المعقدة مثل الكعكة أو « البقسماط » . وعلى سبيل المثال فقد ثبت أن سبعة ألوان مختلفة تكفى لتلوين أى مجموعة من التقسيمات الفرعية

(٤) قبل هذا العهد كانت تكفىنا ثلاثة ألوان ، سويسرا ، أخضر ، وفرنسا والنمسا ، أحمر ، وألمانيا وإيطاليا ، أصفر .

(٥) تتماثل الخريطة المرسومة على كرة مع تلك المرسومة على ورقة مستوية من حيث مشكلة الألوان . وطالما أن للمشكلة حل على الكرة فباستطاعتنا أن نصنع فتحة صغيرة فى إحدى المناطق الملونة و « نفتح » السطح الباقي على جسم مستو ، مما يعد تحويلا طوبولوجيا مثاليا .

دون تلوين منطقتين متجاورتين بنفس اللون أبدا ، وهناك أمثلة على أننا نحتاج حقا سبعة ألوان .

وحتى تصاب بصداع آخر عليك أن تأتي بإطار عجلة منفوخ ومجموعة من سبعة ألوان ، ثم حاول تلوين سطح الاطار بحيث تلامس كل منطقة ملونة بلون ما ستة مناطق أخرى مختلفة الألوان وبعد ذلك تستطيع أن تقول « ان لي طريقتي الخاصة مع الكعكة » .

٣ - قلب الفضاء ظهرا لبطن :

لقد ناقشنا حتى الآن الخواص الطوبولوجية لعدد من الأسطح بصفة خاصة ، وهي تعتبر من التقسيمات الجزئية ثنائية البعد على أنه من الواضح لنا أن نفس هذه الأسئلة يمكن توجيهها بالنسبة للفضاء ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه . وبذا يمكن صياغة التعميم ثلاثي الأبعاد على مشكلة تلوين الخريطة الى حد ما كالتالي :

المطلوب منا أن نبني فضاء من الفسييفساء باستخدام قطع مختلفة الأشكال والمواد المصنوعة منها ، ونريد أن نفعل ذلك بحيث لا تتلامس في هذا الفضاء قطعتان مصنوعتان من نفس المادة وذلك على امتداد هذا الفضاء . عما عدد القطع المختلفة اللازمة للعمل ؟

وما وجه الشبه بين مشكلة التلوين في ثلاثة أبعاد والتلوين على سطح كرة أو حلقة ؟ وهل من الممكن تصور فضاءات غير عادية بينها وبين الفضاء العادي مثل علاقة سطح الكرة أو الطائرة بالأجسام ذات السطوح المستوية ؟ هذا السؤال قد يبدو ضربا من الجنون لأول وهلة . فالواقع أنه رغم أننا نستطيع أن نفكر في أسطح مختلفة الأشكال ، إلا أننا لا نستطيع أن نصدق وجود أي نوع من الفضاء ثلاثي الأبعاد إلا هذا الفضاء الموجود أمامنا وهو بالتحديد فضاؤنا الذي نعيش فيه . ولكن هذا الرأي ينطوي على مغالطة خطيرة ، فإذا أعملنا الخيال قليلا ، لا نستطعن أن نفكر في فضاء ثلاثة الأبعاد مختلف نوعا ما عن هذا الفضاء الذي درسناه في كتب الهندسة الاقليدية المدرسية .

وتكمن صعوبة تخيل مثل هذا الفضاء الغريب أساسا في الحقيقة التي مفادها أننا من المخلوقات ثلاثية الأبعاد ، وبالتالي علينا أن ننظر الى الفضاء « من الداخل » ان صح هذا القول وليس « من الخارج » كما نفعل.

عند دراسة الأسطح الغريبة الشكل ، ولكن يمكننا مع شيء من الرياضة الذهنية أن نقهر هذه الفضاءات الغريبة دونما صعوبة كبيرة .

دعونا أولا نحاول تصميم نموذج لفضاء ثلاثى الأبعاد ، ذى خواص مشابهة لسطح الكرة . والخاصية الرئيسية للسطح الكروى هى بالطبع أنه بالرغم من عدم وجود حدود له فإن له مساحة محددة فهو سطح يستدير وينغلق على نفسه . فهل بمقدورنا أن نتخيل فضاء ثلاثى الأبعاد يستدير وينغلق على نفسه بشكل مماثل ومن ثم يصبح له حجم محدد دون أن تكون له حدود قاطعة ؟ فكر فى جسمين مستديرين يحد كل منهما سطح دائرى تماما كالتفاحة والقشر المحيط بها .

والآن تخيل أن هذين الجسمين قد وضعا « داخل بعضهما » بحيث تلتصق قشرتاها . ونحن لا نحاول ، طبعا ، أن نقول ان بمقدور المرء أن يأخذ جسمين حقيقيين كالتفاحتين مثلا ويضغطهما داخل بعضهما بحيث تلتصق قشرتاها فالتفاحتان سوف تنسحقان ولكنهما لن تتداخلا .

وعلى المرء أن يتخيل تفاحة ذات نظام معقد من القنوات حفر الدود فيها ، وعليه أن يتخيل جنسين من الدود وليكن أحدهما أبيض والآخر أسود ، وهذان الجنسان يتنافران ولا يلتقيان فى قناة واحدة رغم احتمال أن كل منهما قد بدأ الحفر من نقطتين متجاورتين . ان تفاحة تتعرض لهذا الهجوم من نوعين مختلفين من الدود سوف تأخذ فى النهاية منظرا مشابها لما هو موضح فى شكل (١٨) وسيكون بها شبكتان من القنوات متجاورتان



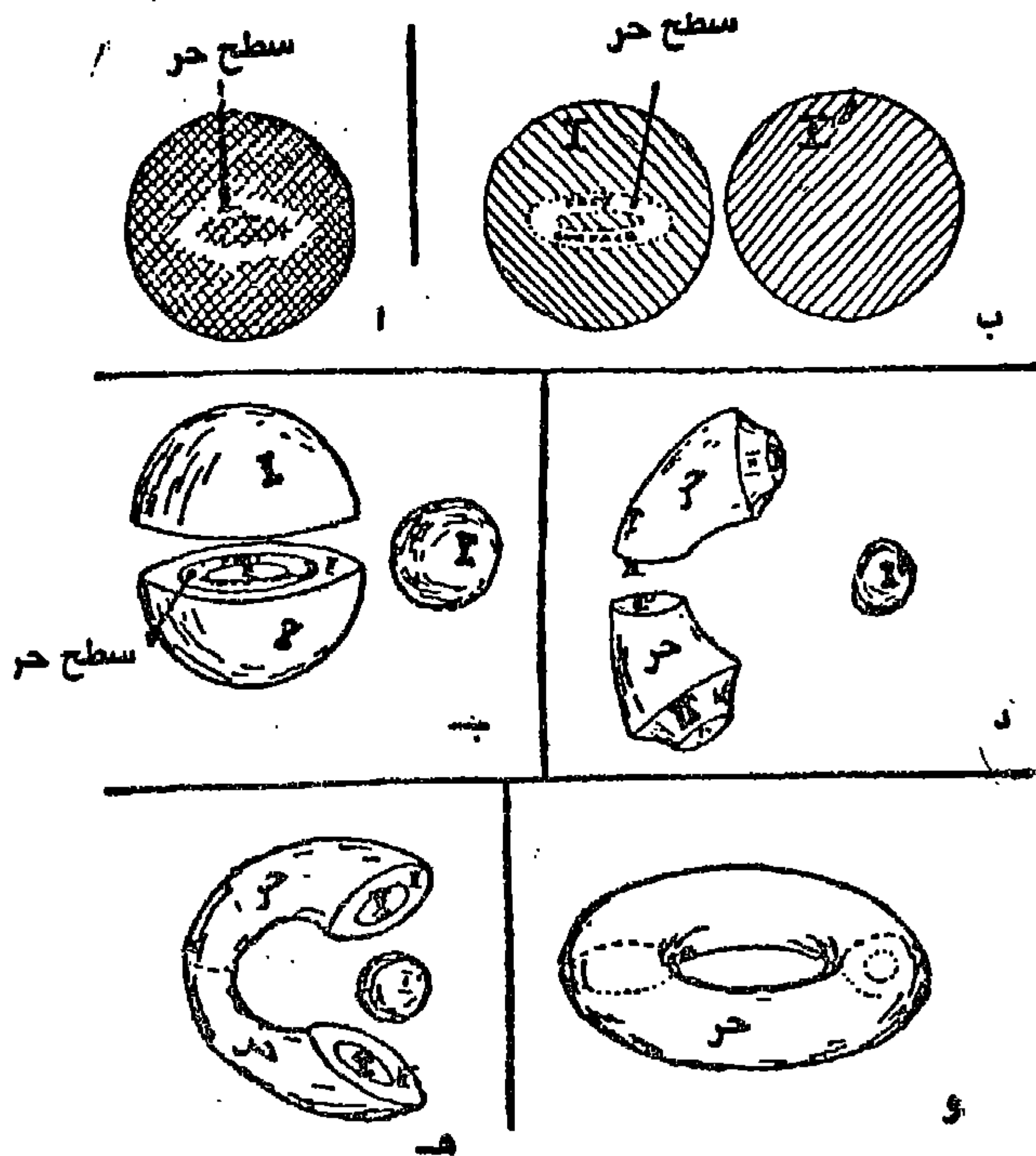
(شكل رقم ١٨)

تماما بحيث يمتلئ بهما جوف التفاحة . ولكن على الرغم من أن القنوات السوداء والبيضاء تمران في خطوط سير متقاربة جدا فانه لا يوجد طريق للعبور من الشبكة الأولى الى الشبكة الثانية الا بالعودة الى القشرة . واذا تصورنا أن القنوات تزداد دقة باستمرار ويزداد أيضا عددها سوف تجد في النهاية أن الفضاء الداخلي للتفاحة هو ببساطة تداخل بين فضائين مستقلين لا يلتقيان الا عند السطح الخارجي .

واذا كنت تكره الدود فعليك أن تتخيل نظاما مزدوجا من الطرقات والسلالم التي يمكن أن تبني مثلا داخل بناء عملاق على هيئة كروية . ويمكنك أن تتصور أن كل سلم يمر بالفضاء الداخلي للكرة ولكن حتى تنتقل من نقطة على أحد السلمين الى نقطة متاخمة لها على السلم الآخر عليك أن تبدأ من سطح الكرة حيث يلتقي السلمان ثم تأخذ طريقك الى الموقع الذي تريده على أحدهما . فنحن نفترض وجود سلمين متداخلين دون أن يندمجا معا ، وأن صديقا لك قد يكون قريبا جدا منك وعلى الرغم من ذلك عليك حتى تتمكن من مقابله ومصافحته أن تعود من حيث أتيت ، وتبدأ الطريق من جديد على السلم الذي يقف عليه ! ومن المهم أن تلاحظ أن نقط الالتقاء بين نظامي السلم لن يختلفا في الواقع ، عن أي نقطة أخرى داخل الكرة ، حيث انه بمقدورنا دائما أن نغير التركيب كله بحيث نجذب نقط الالتقاء الى الداخل بينما تدفع النقط التي كانت من قبل في الداخل الى خارج سطح الكرة . والنقطة التالية في الأهمية في هذا النموذج هي أن الطول الكلي للقنوات محدد ولكن لا يوجد لها « نهايات محددة » . فبإمكانك أن تمضي عبر الطرقات والسلالم دون أن يوقفك سور أو حائط ، واذا ما طال بك السير فسوف تصل لا محالة الى نقطة البداية . وبالنظر الى هذا البناء من الخارج يمكن للمرء أن يقول ان السير في هذه المتاهة سوف يؤدي بك الى أن تجد نفسك في النهاية عند نقطة البداية وذلك ببساطة لأن الممرات تلتف بالتدرج حول بعضها ، ولكن بالنسبة لمن بداخل الكرة ولا يعلمون شيئا عن خارج هذه الكرة ، سوف يبدو لهم هذا الفضاء وكأن حجمه لا نهائي كما أنه لا حدود له . وكما سوف نرى في أحد الفصول القادمة أن هذا « الفضاء ثلاثي الأبعاد المنحني على نفسه » ، الذي ليست له حدود واضحة والذي مع ذلك محدود وليس صحيحا على الإطلاق أنه لا نهائي ، قد ساعدنا عند الحديث عن خواص الكون بصفة عامة ، والحقيقة أن المشاهدات التي تمت عن طريق التلسكوب ، تشير كما يبدو الى أن هذا الفضاء البعيد يبدأ بالانحناء ، عند أبعاد مترامية مما يدل على ميل واضح الى الالتفاف والانغلاق على نفسه بنفس الأسلوب الذي يحدث في القنوات ، في مثال التفاحة والدود ولكن

قبل أن نمضى فى دراسة هذه المشكلة المثيرة ، علينا أن نعلم المزيد من خواص الفضاء الأخرى .

ونحن لم نفرغ تماما من التفاحة والدود والسؤال التالى هو هل يمكن تحويل التفاحة الى حلقة من البقسماط ؟ كلا نحن لا نقصد تحويلا فى الطعم فنحن نعنى هنا بدراسة الهندسة وليس بالطهى . والآن لنأخذ تفاحتين مماثلتين لما ذكرناه فى الجزء السابق أى تفاحتان طازجتان « داخل بعضهما » و « ملتصقتان ببعضهما » من القشرة والآن افترض أن دودة قد صنعت قناة اسطوانية واسعة كما فى شكل (١٩) . تذكر أن ذلك لن يحدث الا فى تفاحة واحدة بحيث تكون كل نقطة لم تنخرها الدودة مزدوجة فى التفاحتين أما داخل القناة فسوف نجد لدينا مادة التفاحة التى لم تنخرها الدودة . والآن فان « التفاحة المزدوجة » يصبح لها سطح جديد خالص من الجدارين الداخليين للقناة (أ) .



(شكل رقم ١٩)

كيف تحول تفاحة مزدوجة نخرتها دودة الى قطعة من البقسماط بلا سحر ،
انها مجرد طوبولوجيا .

هل تستطيع أن تحول شكل هذه التفاحة التالفة الى حلقة من البقسماط ؟ من المفترض بالطبع أن مادة هذه التفاحة مرنة تماما بحيث يمكن تشكيلها كما نشاء والشرط الوحيد هو عدم حدوث أى تمزق فيها . وحتى يمكن تسهيل العملية ربما نقطع مادة التفاحة بشرط أن نعيد لصقها ثانية بعد اجراء التحوير المطلوب .

نبدأ العملية بفصل قشرتى هاتين التفاحتين عن بعضهما (التفاحة المزدوجة وأبعاد التفاحتين عن بعضهما) (شكل ١٩ ب) . وسوف نميز السطحين المنفصلين بالرقمين I والحرف II حتى نتمكن من متابعتهم فى العمليات اللاحقة ونستطيع أن نعيدهما كما كانا قبل الانتهاء من المهمة . والآن نقطع الجزء الذى يحتوى على القناة التى صنعتها الدودة بالعرض وبذلك يمر القطع من منتصف القناة (شكل ١٩ ج) . وينتج عن هذه العملية فتح سطحين جديدين ونرمز لهما بالرموز II ، III و III ، III بحيث نعرف كيف نلصقهما ببعض مرة أخرى . كما يودى هذا القطع الى ظهور السطح الحر للقناة والذى سوف يشكل سطحاً حراً للكعكة . والآن خذ الأجزاء المقطوعة ورتبها كما يظهر فى الشكل (١٩ د) . والآن تجد أن السطح الحر قد امتد الى حد كبير (لكن وفقاً لما افترضناه فان مادة التفاحة قابلة للامتداد والمط تماماً !) . وفى الوقت ذاته نجد أن السطوح المقطوعة I ، II ، III قد انكمشت أبعادها . وأثناء التعامل مع النصف الأول من « التفاحة المزدوجة » ينبئ أيضاً أن تقلص حجم النصف الثانى ضاغطين اياه بحيث يماثل حجم ثمرة التوت ، والآن نحن على استعداد للبدء فى لصق ما قطعناه . فى البداية الصق السطحين III ، III مرة ثانية ، وهذا أمر سهل ، وبذلك تحصل على الشكل الموضح فى (١٩ هـ) . ثم ضع التفاحة المنكمشة بين نهايتى الشكل الناتج الشبيه بالكماشة ثم صل الطرفين معا . ان سطح الكرة المرموز لها بالرمز II سوف يلصق بالسطح I والذى انفصل عنه فى الأصل بينما ينغلق السطحان II ، II على بعضهما ونتيجة لذلك نحصل على حلقة كالبقسماط .

وما مغزى ذلك كله ؟ .

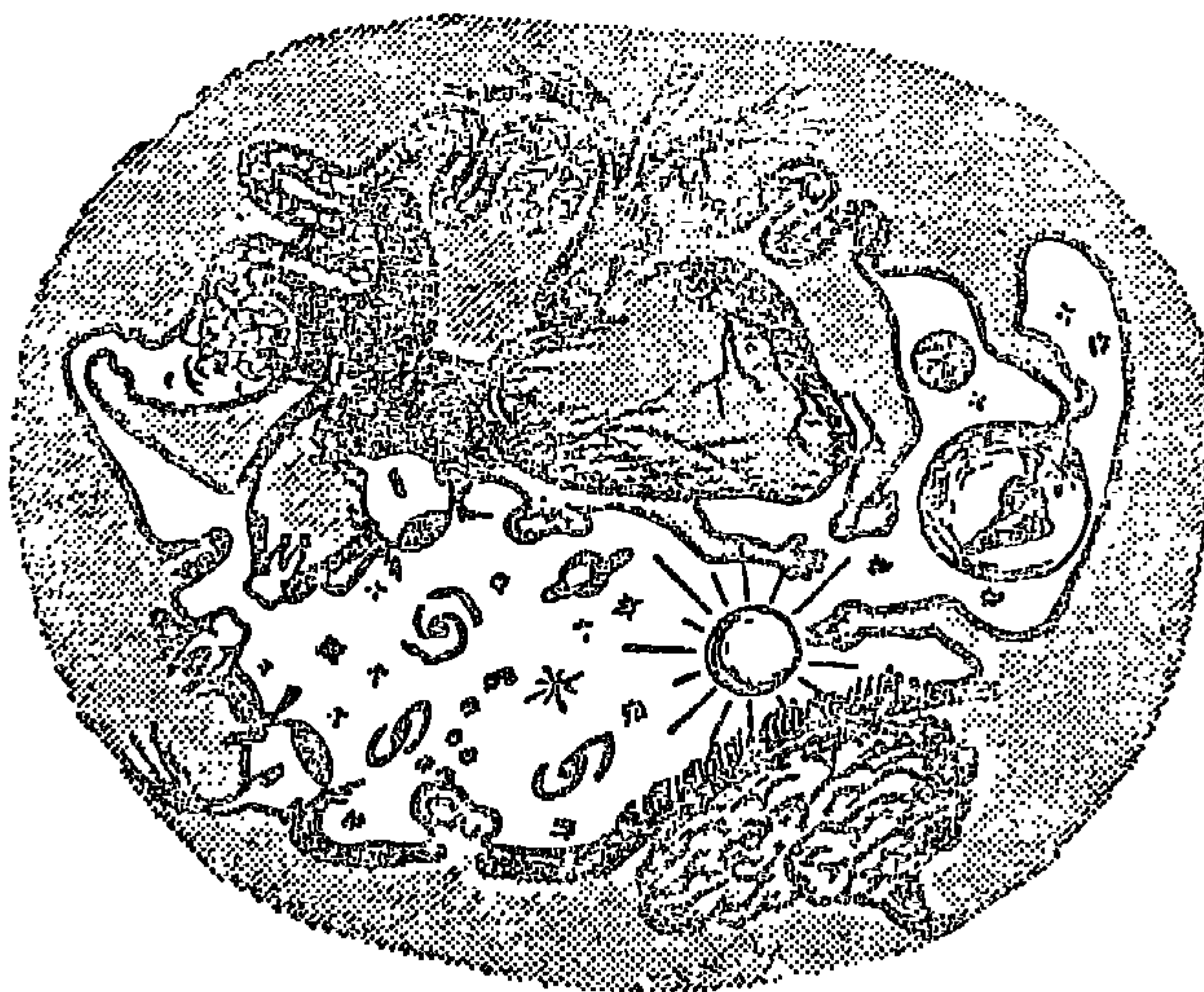
لا شئ الا تدريبك على الهندسة التخيلية ، وهى نوع من الرياضة الذهنية سوف يساعدك على فهم الأمور الغريبة مثل الفضاء المنحنى والفضاء المنغلق على نفسه .

إذا أردت أن توسع من أفق تخيلك أكثر من ذلك قليلا ، فاليك « التطبيق العملى » على التجربة السابقة .

ان جسمك أيضا له شكل الحلقة وان كان ذلك لم يخطر لك ببال من قبل . والواقع أن هذه مرحلة مبكرة جدا من مراحل التكوين (مرحلة الجنين) . وكل نظام حي يمر بما يسمى « المرحلة المعدية » (من المعدة) حيث يأخذ الجنين الشكل كرويا وبه قناة واسعة تمر بعرضه ، ويدخل الطعام من احدى نهايتي هذه القناة ليخرج من طرفها الآخر بعد أن يحتجز الجسم منه ما يمكن الانتفاع به . أما الكائنات الكاملة النمو فتصير هذه القناة فيها أدق وأكثر تعقيدا ، ولكن المبدأ يظل كما هو ، كما أن كافة خواص الحلقة البقسماطية تبقى كما هي دون تغيير .

حسن ، طالما أنك حلقة حاول أن تجرى تحويلا عكسيا لتلك الهيئة المبينة في شكل (١٩) وحاول أن تتخيل أنك أصبحت تفاحة مزدوجة بها قناة داخلية ، وسوف تجد على وجه الخصوص أنه طالما أن الأجزاء المختلفة من جسمك ، والمتداخلة جزئيا مع بعضها البعض سوف تمثل جسم « التفاحة المزدوجة » فان السكون بأكمله ، بما في ذلك الأرض والقمر والشمس والنجوم سوف ينضغط في هذه القناة الداخلية الدائرية !

حاول رسم صورة لما قد يبدو هذا الأمر عليه ، فاذا ما فعلت ذلك

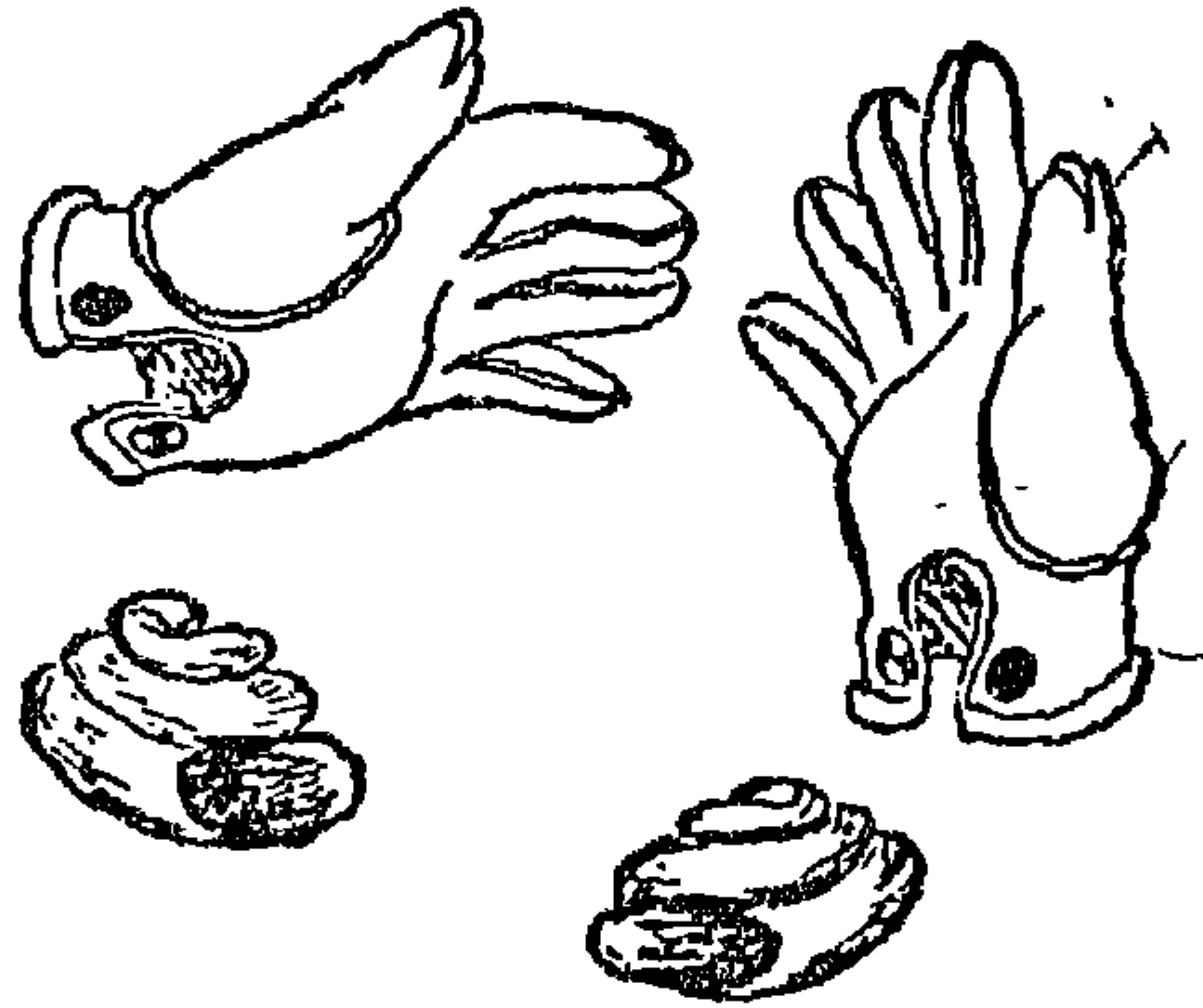


(شكل رقم ٢٠)

الكون ظهرا لبطن . هذا الرسم السريالي يعبر عن رجل يمشى على سطح الكرة الأرضية ويمد بصره الى النجوم . والصورة محولة طوبولوجيا وفقا للاستلوك الذي سبقت الإشارة اليه (في شكل ١٩) ولذا فان الأرض ، والشمس ، والنجوم كلها مكدسة في قناة ضيقة نسبيا وتجر داخل جسم الانسان مخاطة بأعضائه الداخلية .

سيُعترف لك « سلفادور دالي » نفسه بالتفوق في فن الرسم السريالي (*).
(شكل ٢٠) .

ولن نستطيع أن نأتى على هذا الجزء الطويل من الكتاب دون أن نناقش بعض الأجسام اليمينية واليسارية وعلاقتها بالخواص العامة للفضاء . وقد يسهل عرض هذه المشكلة بأسلوب ملائم بالاستعانة بزواج من القفازات ، وعندما تقارن بين فردتى زوج من القفازات ستجد أنهما متطابقتان في جميع القياسات الا أن هناك اختلافا كبيرا ، اذ انك لا تستطيع ارتداء الفرده اليمنى فى اليد اليسرى أو العكس وبمقدورك أن تلفهما وتديرهما كما تشاء ومع هذا تبقى اليمنى يمنى واليسرى يسرى . ويمكن ملاحظة نفس الاختلاف بين الأشياء اليمنى واليسرى فى تكوين الأحذية ، ونظام التوجيه فى السيارات (أمريكية وانجليزية النوع) ومضارب الجولف وغير ذلك من الأشياء .



(شكل رقم ٢١)

تبدّر الفردتان اليمنى واليسرى متشابهتان تماما ومع ذلك فهما مختلفتان تماما أيضا .

ومن ناحية أخرى نجد أشياء مثل قبعات الرجال ومضارب التنس والعديد من الأدوات الأخرى متشابهة تماما . فلا أحد من حماقة بحيث يطلب من متجر دسته من الفناجين اليسارية ، كما أن من الغباء بمكان أن يطلب شخص ما استعارة مفتاح انجليزى يسارى من جار له . ما الفارق بين هذين النوعين من الأشياء ؟ ستجد بعد قليل من التفكير أن أشياء مثل القبعات والفناجين تتصف بما يمكن أن نسميه بالنسوى

(*) نزعَة ولدت عام ١٩٢٤ وتعتمد أساسا على اللاشعور وتأثرت بتحليلات بريتون وفرويد النفسية ومن روادها المعاصرين دالى وميرو وشجال .. (المترجم) .

التمائل بحيث يمكن أن نقسمها الى نصفين متماثلين ، الا أن هذا المستوى لا يوجد فى الففارات أو الأحذية • ومهما حاولت فلن تستطيع أن تقسم فردة قفاز الى نصفين متطابقين • والأجسام التى لا تمتلك هذا المستوى المتماثل أو تلك التى يطلق عليها لا متماثلة تندرج تحت فئتين مختلفتين وهما اليمنى واليسرى • وهذا الاختلاف لا يكمن فيما يصنعه الانسان فحسب كالقفازات أو مضارب الجولف ولكنه شائع أيضا فى الطبيعة • فيوجد مثلا نوعان من القواقع وهما متشابهان فى جميع النواحي عدا طريقة بناء منازلهما • فهناك نوع يبنى مأواه بشكل مغزلى مع اتجاه عقارب الساعة ، بينما يكون اتجاه بيت النوع الثانى ضد عقارب الساعة ، وحتى ما يسمى بالجزئيات ، وهى الوحدات الدقيقة التى تتكون منها كافة المواد المختلفة يوجد منها جزئيات يسرى وأخرى يمنى تماما كما فى القفزات أو المحارات • ولا يستطيع أحد أن يرى الجزئيات بعينه المجردة قطعا ، ولكن عدم التماثل يظهر فى أشكال البلورات وبعض الخواص الضوئية لها • فهناك مثلا صنفان من السكر ، سكر أيمن ، وسكر أيسر وصدق أو لا تصدق • يوجد نوعان من البكتريا التى تتغذى على السكر ، كل نوع متخصص فى استهلاك صنف معين من هذه المادة •



(شكل رقم ٢٢)

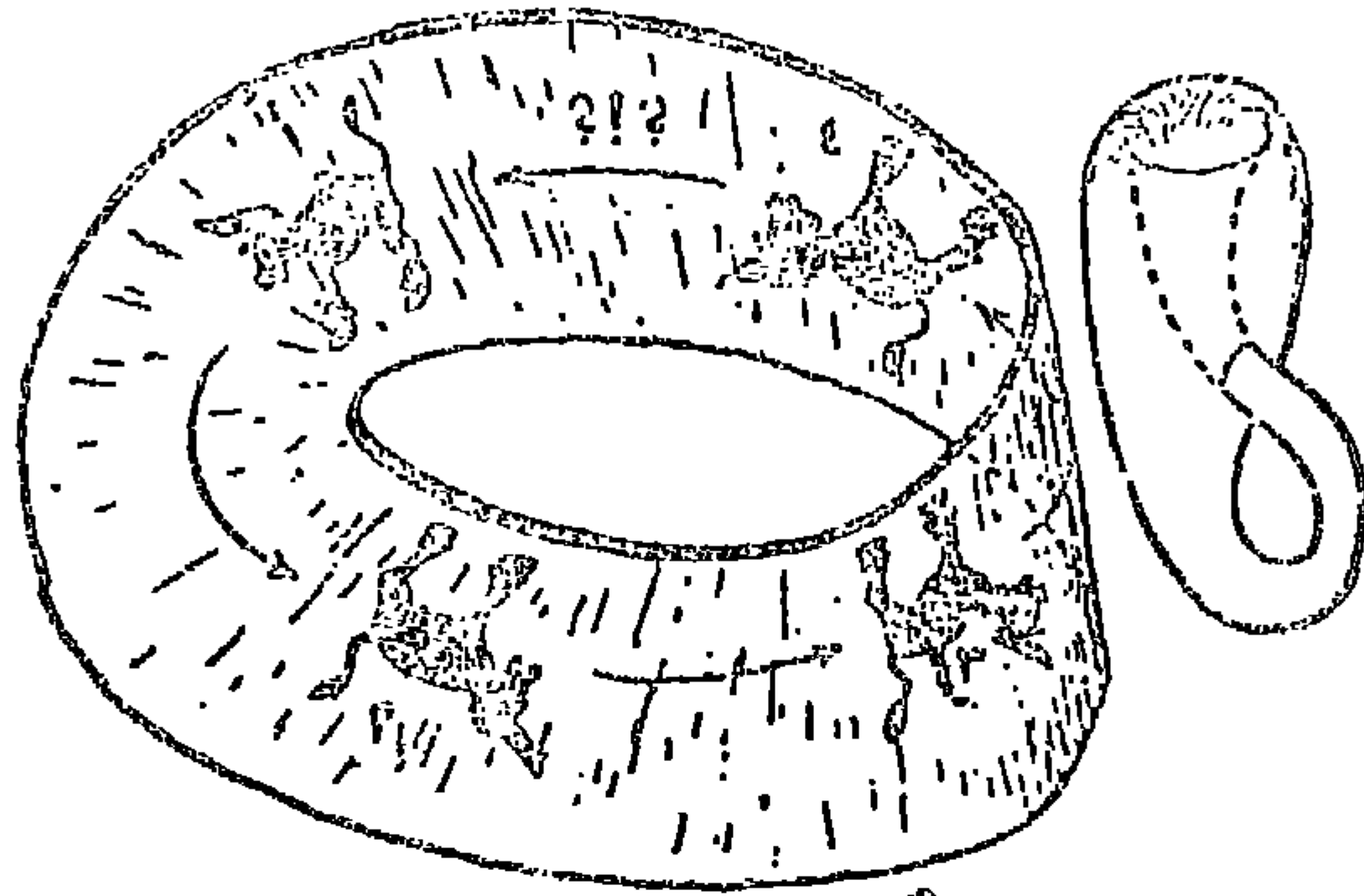
فكرة وجود « مخلوقات الظل » التى تمش على سطح مستو ، وهذا النوع من المخلوقات ليس « واقعا » تماما • فالرجل له وجه وليس له « بروفييل » ، كما أنه لا يستطيع أن يضع فى فمه هذا العنب الذى يحمله فى يده • ويستطيع الحمار أن يأكل العنب ولا شيء فى ذلك ، ولكنه لن يمشى الا الى اليمين وعليه أن يتقهقر اذا أراد السير الى اليسار وهذا ليس غريباً بالنسبة للحمار ولكنه ليس مقبولا بصفة عامة •

وكما أشرنا آنفا من المستحيل قطعياً ، أن نحول جسماً أيسر إلى جسم أيمن كما في القفاز على سبيل المثال . ولكن هل هذا صحيح فعلاً ؟ أو هل يستطيع أحد أن يتخيل نوعاً من الفضاء يمكن فيه أن يتم هذا التحزير ؟ وحتى يتسنى لنا الإجابة على هذا السؤال ، علينا أن نتناول الأمر من وجهة نظر الأجسام المسطحة التي تسكن سطحاً يمكن أن ننظر إليه من وضع التفوق باعتبارنا من الكائنات ثلاثية الأبعاد . . . انظر شكل ٢٢ الذي يمثل بعض الأمثلة للسكان الممكن وجودهم على أرض مسطحة ، من فضاء ثنائي الأبعاد وبه يظهر رجل حاملاً عنقود من العنب وهي صورة « أمامية للرجل » إذ أن له وجهاً وليس له بروفيل . بينما ترى في المثال الآخر « بروفيل لجمار » أو بشكل أكثر دقة صورة جانبية يميني له . ونستطيع بطبيعة الحال أن نرسم صورة جانبية يسرى له . ولما كان كلا المثالين مقيداً بالسطح فإن الاختلاف بينهما لا يخرج عن الاختلاف من وجهة النظر ثنائية الأبعاد . تماماً كالقفاز الأيمن والأيسر في فضاءنا العادي . وليس بمقدورك أن تضع « حماراً أيسر » على « حمار أيمن » ، طالما أنك مضطر حتى تنجح في ضم أنفيهما وذيليتهما معاً إلى أن تقلب أحدهما رأساً على عقب ، وبالتالي تصبح أرجل أحدهما معلقة في الهواء بدلاً من استقرارها على الأرض .

ولكنك إذا أخذت واحداً منهما ، بعيداً عن السطح وأدرته في الفضاء ووضعتة ثانية على السطح سوف يصبح الحماران متطابقين . وقياساً على ذلك يمكن القول أن فردة قفاز يميني يمكن أن نحولها إلى فردة يسرى عن طريق انتزاعها من فضاءنا في الاتجاه الرابع وتحريكها بشكل مناسب قبل إعادتها إلى وضعها ثانية . ولكن فضاءنا ليس به بعد رابع ونحن ثم فإن هذا العمل يعتبر ، بالتأكيد ، مستحيلاً .

اذن دعنا نعود مرة أخرى إلى هذا العالم ثنائي الأبعاد ولكن بدلاً من أن نتعامل مع سطح مستوي كما في شكل (٢٢) ، نتحرى خصائص ما يطلق عليه « سطح موبايوس » (Moebius) وهذا السطح المعروف باسم الرياضي الألماني الشهير الذي كان أول من درسه منذ قرن من الزمان ويمكن إعداده بأخذ شريط من الورق العادي ، ولصقه على هيئة حلقة مع ليه مرة قبل أن يوصل طرفاه ببعضهما . ان نظرة إلى شكل (٢٣) سوف تظهر لك كيفية القيام بذلك . وهذا السطح يتميز بعدد من الخواص الغريبة التي يمكن اكتشافها بسهولة عن طريق شقه بالمقص تماماً في خط مواز لحافته (على امتداد الأسهم في الشكل) . أنك تتوقع بالطبع أن تحصل على حلقتين منفصلتين ، ولكن التجربة العملية ستثبت خطأ هذا الاعتقاد ، فبدلاً من حصولك على حلقتين سوف تحصل على حلقة واحدة يساوي محيطها ضعف محيط الخاتم الأصلي وعرضها النصف ! .

والآن دعونا نرى ما يحدث لظل حمار حين يمشى على امتداد سطح موبوس وافترض أنه يبدأ من الموضع ١ (شكل ٢٣) فيرى عند هذه النقطة كصورة جانبية يسرى ، ثم يمشى حتى يصل الى الموضع ٢ ، ٣ الموضح في الشكل . وفي النهاية يصل الى النقطة التي بدأ منها . ولكن من المدهش له ولك أيضا أنه سيجد نفسه وقد تعلقت أرجله في الهواء (موضع ٤) وبمقدوره طبعا أن ينقلب على سطحه لتنزل أرجله ولكنه سيكون في عكس اتجاهه الأصلي .



(شكل رقم ٢٣)

سطح موبوس وزجاجة كلين

وبإيجاز نقول ان السير على سطح « موبوس » سوف يجعل من « البروفيل الأيسر » للحمار بروفيلاً أيمن ، وهنا نذكرك أن هذا قد تم رغم أنه لا يزال على نفس السطح ولم يؤخذ منه ليقلب في الفضاء . وهكذا نجد أنه يمكن تحويل الأشياء اليمنى الى أشياء يسرى على سطح ملتف وانعكس صتيح عن طريق السير على امتداد هذا الالتفاف .

ويمثل « شريط موبوس » المبين في شكل (٢٣) جزءاً من سطح أكثر شمولاً يعرف بزجاجة « كلين » (Klein) (وهي مبنية على اليمين في نفس الشكل) ، وهي ذات جانب واحد ومنغلقة على نفسها دون أي انعكاسات حادة . فإذا كان ذلك ممكن حدوثه على سطح ثنائي الأبعاد فيمكن أن يحدث أيضاً على سطح ثلاثي الأبعاد بشرط أن يلتف بالطريقة المناسبة طبعا . وطبيعي أنه من الصعب أن نتخيل التفاف « موبوس » في الفضاء ، فنحن لا نستطيع أن نلقى نظرة على فضاءنا من الخارج كما نظرننا الى ظل الحمار ، ومن الصعب دائماً أن ترى الأشياء بوضوح عندما تكون في وسطها على أن انغلاق الفضاء على نفسه والتفافه كما في سطح موبوس ليس بالأمر المستحيل .

ولو صح ذلك لكان معناه أن المسافر حول الكون سوف يعود أيسر الاتجاه ، بحيث يكون قلبه على اليمين ، وسوف يسهل على صانعي الأحذية والقفازات أن يستغلوا هذه الميزة بإنتاج أحذية وقفازات ذات اتجاه واحد ، ثم شحن نصف هذا الانتاج فى دورة حول الكون حتى يعود مناسباً للنصف الثانى من الأحذية أو القفازات .

وبهذه الفكرة الخيالية نأتى الى ختام حديثنا عن الخواص غير العادية للفضاء غير المألوف .

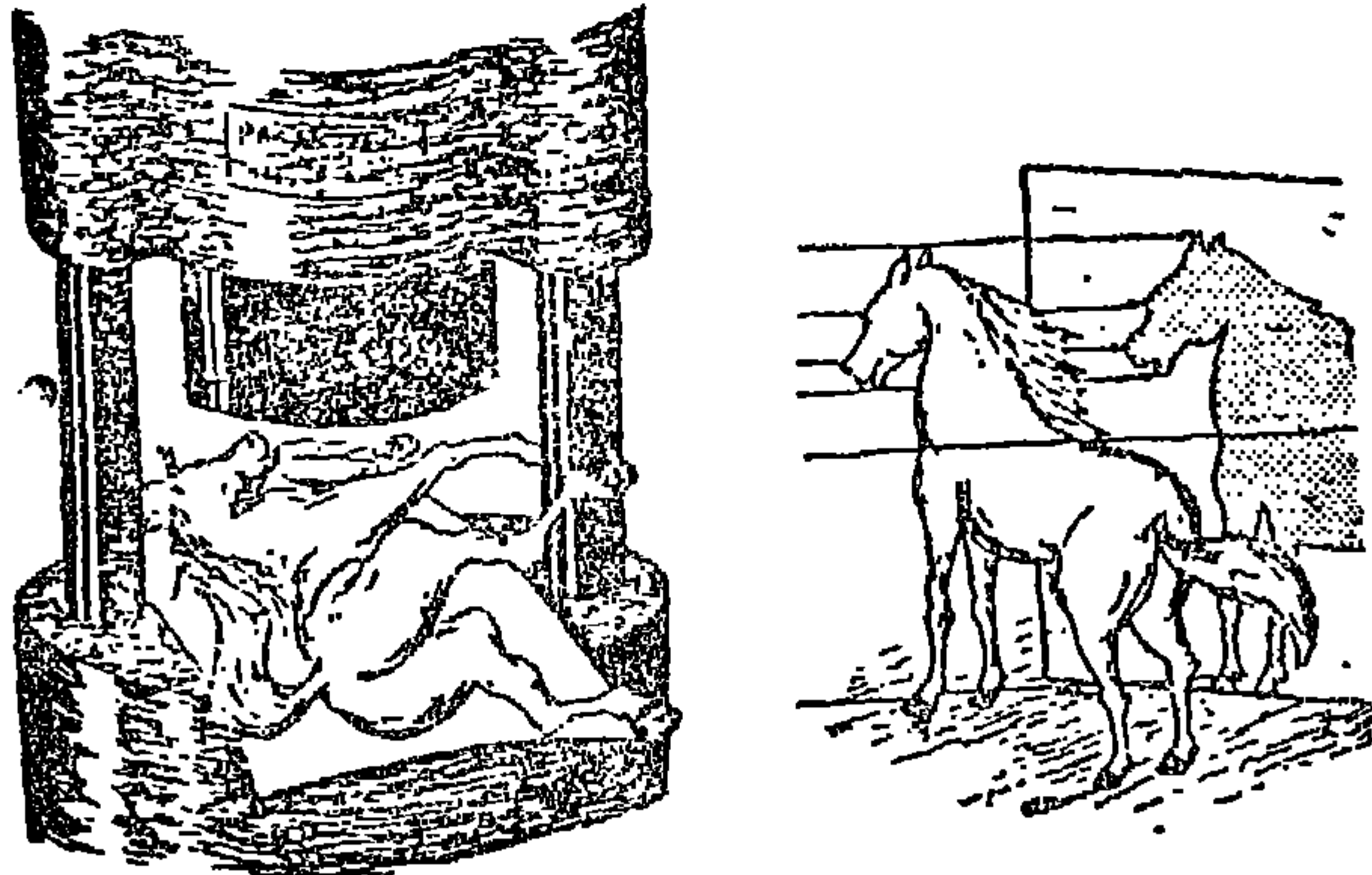
الفصل الرابع

العالم رباعي الأبعاد

١ - الزمن بعد رابع :

ان مفهوم البعد الرابع محاط دائما بالغموض وعدم اليقين ، فكيف نجرؤ نحن المخلوقات ذات الطول والعرض والسمك على أن نتحدث عن فضاء رباعي الأبعاد ؟ وهل يمكننا باستخدام كل طاقتنا الفكرية المبنية على الثلاثة أبعاد أن نتصور فضاء فوقيا ذا أربعة أبعاد ؟ .

وكيف يكون شكل مكعب أو كرة رباعية الأبعاد ؟ عندما نقول « تخيل » تنينا عملاقا ذا ذيل طويل مدبرع ولهيب ينبعث من فتحتي أنفه

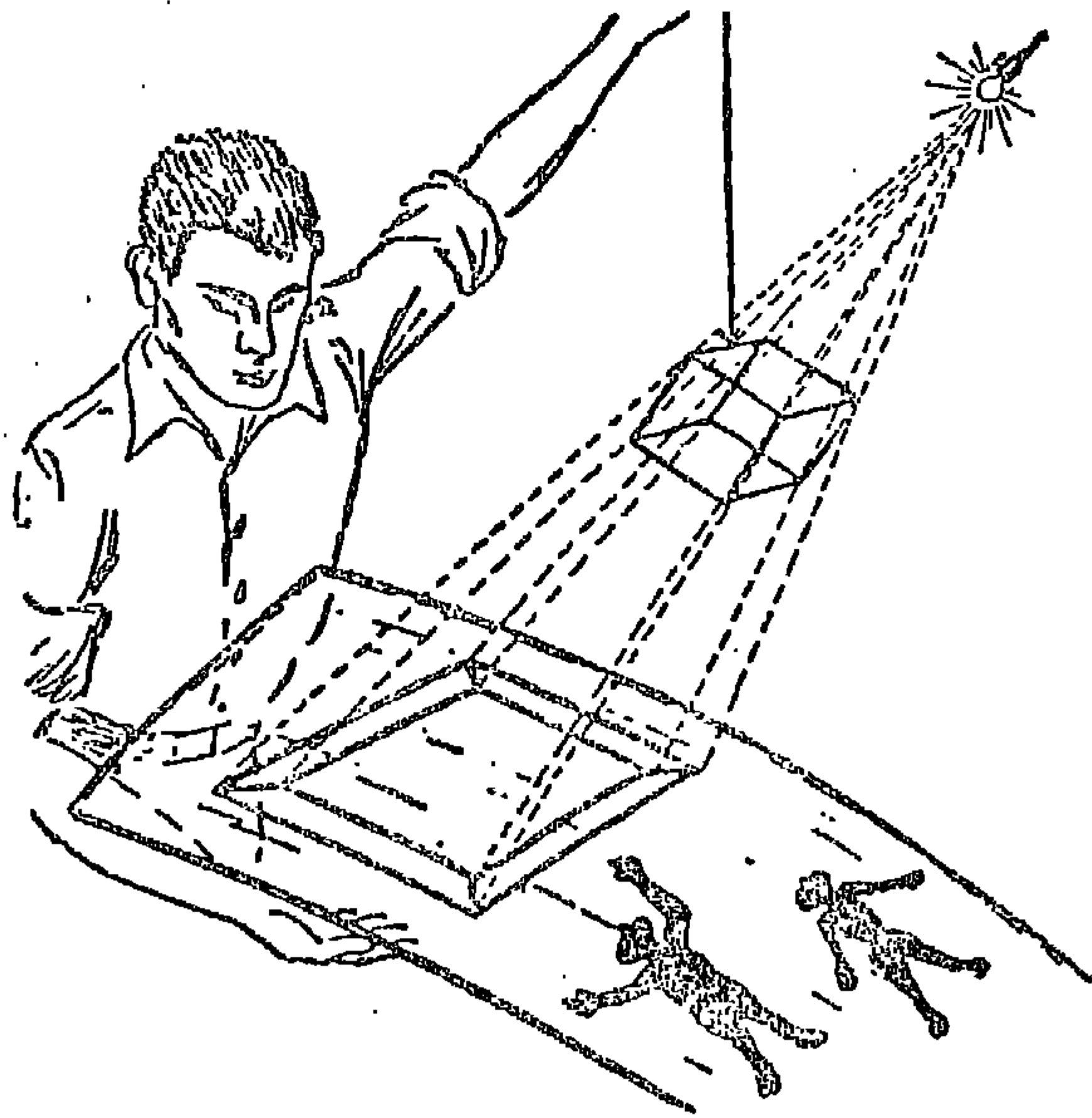


(شكل رقم ٢٤)

طريقة سليمة وطريقة خاطئة لـ « ضغط » جسم ثلاثي الأبعاد ليصبح ثنائي الأبعاد .

أو طائفة ضخمة بها حمام سباحة وملعبا تنس على الأجنحة ، فأنتا ترسم صورة ذهنية لما يمكن أن تكون هذه الأشياء عليه اذا قدر وظهرت أمامنا . وأنت ترسم هذه الصورة بناء على خلفية من فضاء مألوف ثلاثي الأبعاد يحتوى على جميع الأشياء العادية بما فى ذلك أنت نفسك . واذا كان ذلك هو ما تنطوى عليه كلمة « تخيل » فلا عجب اذن أنه من المستحيل أن نتخيل جسما رباعى الأبعاد بناء على خلفية من فضاء ثلاثى الأبعاد وهو المألوف لديك . ومن المستحيل أن نحول جسما ثلاثى الأبعاد الى جسم مستر بالضغط . ولكن مهلا دقيقة واحدة ، فنحن نفعل ذلك بشكل ما حين نضغط الأجسام ونحولها الى أشكال مسطحة عند رسم صور لها وفى كل هذه الحالات ، لا نلجأ الى استعمال مكبس هيدرولى بالطبع ، أو غير ذلك من القوى التى تساعدنا فى تنفيذ هذه المهمة ، ولكننا نطبق الأسلوب المعروف « بالاسقاط الهندسى » أو رسم الظلال ، والفارق بين أساليب ضغط الجسم (بالنسبة لحصان مثلا) يظهر فى الحال عند النظر الى شكل (٢٤) .

وقياسا على ذلك نستطيع الآن القول بأنه على الرغم من استحالة ضغط جسم رباعى الأبعاد فى فضاء ثلاثى الأبعاد دون أن تحدث به نتوءات



(شكل رقم ٢٥)

مخزوقات ثنائية الأبعاد تنظر فى دهشة الى ظل مكعب ثلاثى الأبعاد اسقط على سطحها .

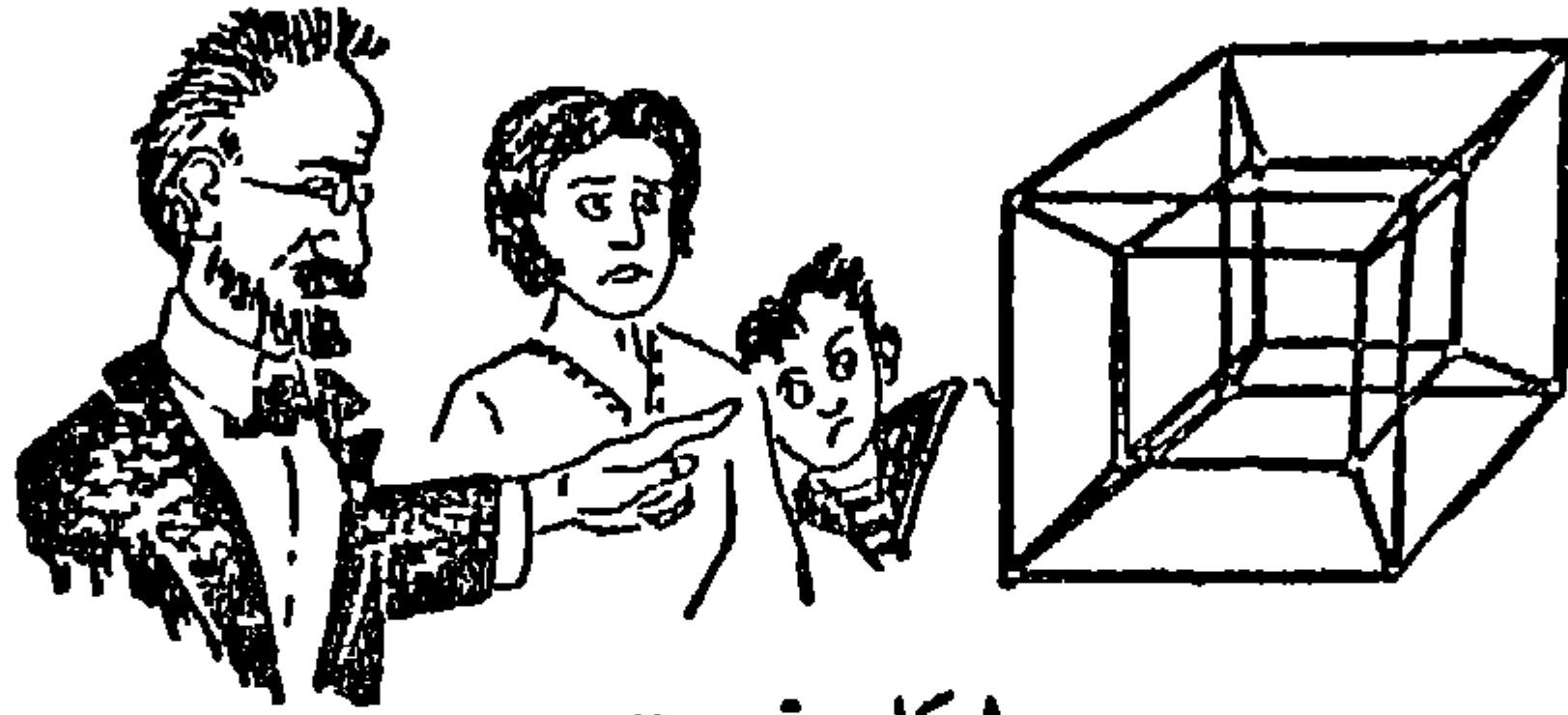
فى بعض الأجزاء ، الا أنه من الممكن « اسقاط » الأشكال الرباعية المختلفة فى فضائنا المقتصر على ثلاثة أبعاد . ولكن على المرء أن يتذكر أن اسقاط الأجسام الرباعية الفوقية سوف يتم فى فضائنا المعتاد على شكل صور ثلاثية ، تماما كما تظهر ثلاثيات الأبعاد على الأسطح المنبسطة فى شكل ثنائى الأبعاد .

وحتى نزيد الأمر إيضاحا ، دعونا نفكر أولا فى كيفية تعبير الظلال الثنائية الأبعاد الموجودة على مسطح ما عن مكعب ثلاثى الأبعاد أصلا ، تستطيع تخيل ذلك بسهولة ، اذ طالما أننا من المخلوقات الثلاثية فنستطيع أن ننظر من أعلى (أى من موضع التفوق) أو من حيث العالم المتفوق الثلاثى على عالم أقل منه ثنائى . ولا يوجد أسلوب « لضغط » مكعب على سطح منبسط الا ذلك « الاسقاط » المبين فى شكل (٢٥) وعن طريق مشاهدة هذا الاسقاط وغيره من الاسقاطات الناشئة عن تحريك المكعب يمكن لسكان السطح المستوى أن يكونوا فكرة عن الخواص الغريبة لهذا الشكل الغريب المسمى « مكعب ثلاثى الأبعاد » . وهم بالطبع لن يتمكنوا من « القفز » خارج سطحهم والنظر الى المكعب كما ننظر اليه ، ولكن عن طريق ملاحظة الاسقاط نستطيع أن نقول ان بمقدورهم ، مثلا ، ادراك أن لهذا المكعب ثمانية رؤوس واثنى عشر ضلعا . والآن انظر الشكل (٢٦) وسوف تجد نفسك فى نفس الموقف ، تماما كالمخادقين الظليين المسكينين عند تفقدتهما لمكعب ثلاثى الأبعاد منعكس على سطحهما . والحقيقة أن البناء المعقد والغريب الذى تفحصه هذه الأسرة بهذه الدهشة هو اسقاط طبق الأصل لمكعب فوقى رباعى الأبعاد على فضائنا المعتاد (١) وافحص هذا الشكل بعناية وسوف تتعرف بسهولة على نفس الخواص تماما كما حدث مع هذين الفردين فى شكل (٢٥) : ففى حين أن اسقاط مكعب عادى على مستوى منبسط يظهر على هيئة مربعين أحدهما داخل الآخر ، بحيث تتصل رؤوس كل منهما بالرؤوس المقابلة فى الآخر ، فان اسقاط المكعب الفوقى على فضائنا يظهر على هيئة مكعبين أحدهما داخل الآخر ورؤوسهما متصلة ببعضها بشكل مشابه . ويمكنك بسهولة عن طريق العد أن نتبين أن للمكعب الفوقى ١٦ رأسا و ٣٢ ضلعا و ٢٤ وجهًا وهو مكعب تام أليس كذلك ؟

والآن لنر شكل الكرة الرباعية الأبعاد ، وحتى نفعل ذلك فمن الأفضل أن نلجأ مرة أخرى الى حالة مألوفة ، وهى اسقاط كرة عادية على

(١) أو على الأصح ، يعبر شكل ٢٦ عن اسقاط هذا المكعب على ورقة من الكتاب المستوى ، وهذا الاسقاط ناشئ عن مكعب فوقى رباعى الأبعاد .

سطح مستو • ولنفكر مثلا في كرة شفافة تحتوى على خريطة للقارات والمحيطات ومسقطة على حائط أبيض (شكل ٢٧) • وسوف يتداخل نصف الكرة في هذه الصورة بالطبع ، وإذا حكمنا على المسافات منها ظن المرء أن المسافة بين نيويورك (الولايات المتحدة الأمريكية) « وبكين » (الصين) قصيرة جدا ولكن هذا مجرد انطباع ، والواقع أن كل نقطة على هذا الاسقاط انما تمثل في الحقيقة نقطتين متقابلتين على الكرة الأصلية ، وبالتالي فان اسقاطا لطائرة مسافرة من نيويورك الى الصين على الكرة الأرضية سوف يتجه بطول الطريق حتى يصل الى حافة السطح المنبسط للاسقاط ، ثم يرجع هذه المسافة مرة أخرى • وعلى الرغم من أن اسقاط طائرتين في نفس الوقت قد يظهر تداخلا بينهما الا أنه لن يكون هناك أن تصادم « فعلا » اذا كان كل منهما يطير في النصف العكسي للكرة بالنسبة للآخر •

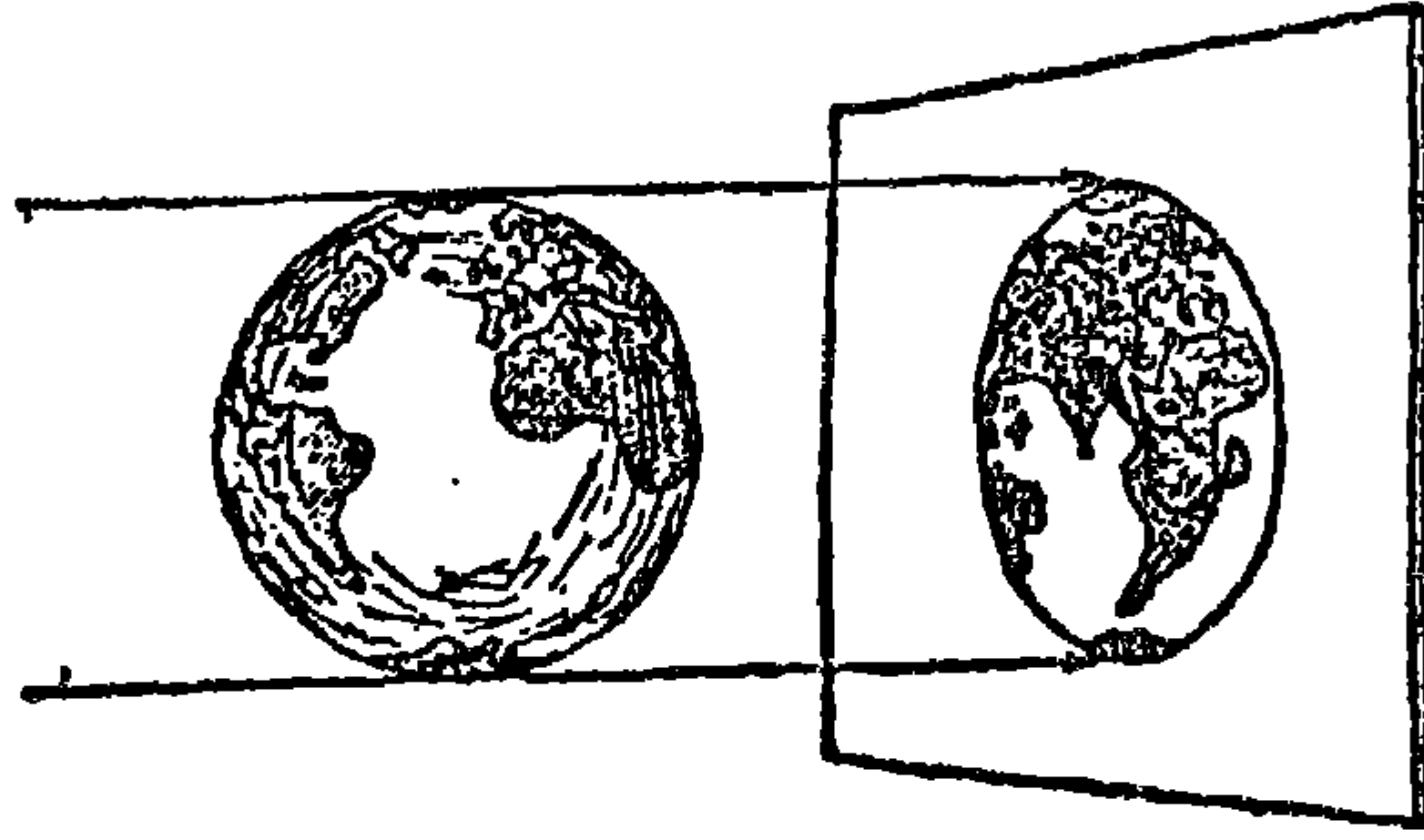


(شكل رقم ٢٦)

ان هذه الخواص تميز الاسقاط المستوي لكرة عادية ، فاذا ما استزدنا من ملكة الخيال أكثر من ذلك فلن نجد صعوبة في تصور الاسقاط الفضائي لكرة رباعية ، وكما يظهر اسقاط الكرة العادية على سطح مستو على صورة دائرتين فوق بعضهما (نقطة فوق نقطة) ولا تتحد الدائرتان الا في المحيط الخارجي - كذلك يمكن تخيل الاسقاط الفضائي لكرة فوقية من جسمين كرويين متداخلين وملتحمين على مستوى السطح الخارجي لكل منهما ، ولكنه سبق لنا أن ناقشنا فعلا تركيبه غير عادية ، وهي التي شرحناها في الفصل السابق باعتبارها مثالا على فضاء ثلاثي أشبه بسطح كرة منغلق أيضا ، لذا فما علينا هنا الا اضافة أن الاسقاط ثلاثي الأبعاد لكرة رباعية لا يزيد على هاتين التفاحتين التوأمتين اللتين سبق لنا أن تحدثنا عن تداخلهما واتحادهما فقط عند القشرة •

وباستخدام القياس ، نستطيع الاجابة عن كثير من الأسئلة الاخرى بالنسبة لخواص الشكل الرباعي الأبعاد ، وذلك على الرغم من أننا مهما حاولنا لن نستطيع أن « نتخيل » اتجاهها رابعا مستقلا في فضاءنا الطبيعي

ولكنك اذا أمعنت النظر أكثر من ذلك ، سوف تجد نفسك في غير حاجة لأن تصبح صاحب قوى خفية حتى تتفهم مغزى البعد الرابع والحقيقة أن هناك كلمة يكاد أغلبنا يستعملها كل يوم للاشارة الى ما قد يعتبر (أو يجب أن يعتبر بالفعل) معبرا عن البعد الرابع المستقل في عالمنا الطبيعي ، ونحن نقصد بذلك الزمان وهو ما يستعمل دائما مع المكان .
لوصف الأحداث التي تجرى من حولنا . وعندما نتحدث عن أى واقعة تحدث في الكون سواء كانت مقابلة صديق بالصدفة في الطريق ، أو انفجار نجم بعيد لا تقتصر عادة في وصفها على مكان الحدث ولكننا نذكر الزمن أيضا . وبذلك نضيف حقيقة جديدة وهي التاريخ الى ثلاث حقائق قديمة وهي الاتجاهات التي تحدد موقعنا في المكان .



(شكل رقم ٢٧)

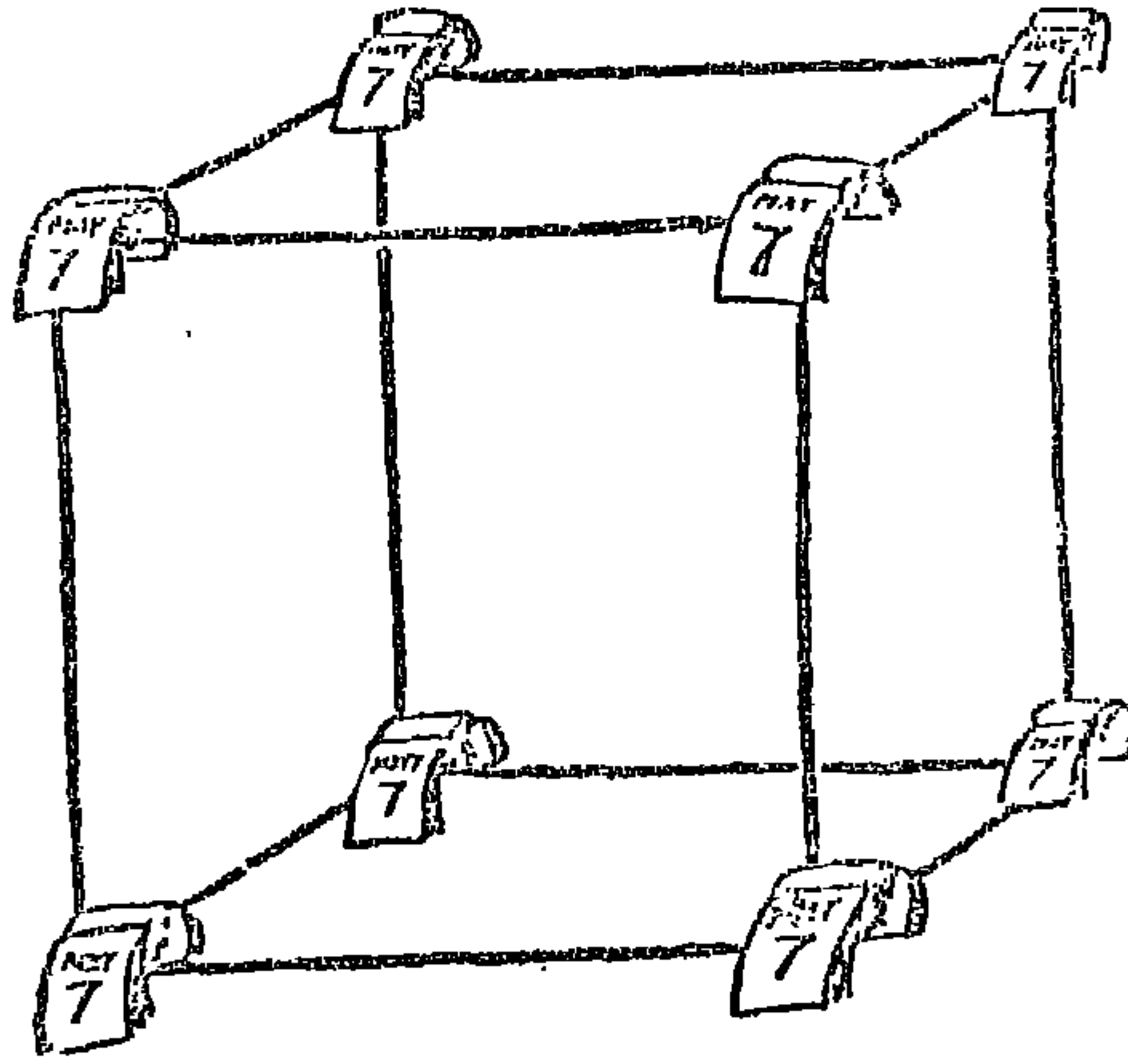
اسقاط منبسط للكرة الأرضية .

واذا ما زدت الأمر بحثا ، أدركت بسهولة أن كل جسم طبيعي له أربعة أبعاد ، ثلاثة منها في الفضاء والرابع في الزمن . ولذا فإن البيت الذي نسكنه يمتد في طوله وعرضه وارتفاعه وأيضا في الزمن . والامتداد الأخير له يقاس بتلك الفترة من الزمن التي مرت منذ بنائه حتى فناءه سواء بالحريق ، أو الهدم ، أو الانهيار بعد فترة زمنية أطول .

ومن المؤكد أن الاتجاه الزمني لا يشبه تماما الاتجاهات الثلاثة الأخرى الفضائية . فالزمن يقاس بالساعة التي تعبر بدقاتها عن الثواني والساعات بالمقارنة مع المسافات التي تقاس بالياردة (أو المتر) ، وذلك لقياس الطول والعرض والارتفاع ، فأنت لا تستطيع أن تحول العصا المتريّة الى ساعة لقياس فترة زمنية . وهناك اختلاف آخر ، ففي حين أنك تستطيع أن تتحرك للأمام ، أو الى اليمين ، أو الى أعلى في الفضاء ثم تعود ثانية ، فانك لا تستطيع التقهقر الى الوراء في الزمن ، مما يجعلك لا تستطيع التحرك الا من الماضي للمستقبل . ولكن مع التسليم بكل

هذه الاختلافات بين الاتجاه الزمني ، والاتجاهات الفضائية ، فلا يزال بمقدورنا أن نستخدم الزمن باعتباره الاتجاه الرابع في أحداث عالمنا الطبيعي ، على ألا ننسى أنه يختلف عن بقية الاتجاهات .

وباختيار الزمن كبعد رابع سنجد أن تصور الأشكال الرباعية أصبح أبسط كثيرا مما كان عليه في مستهل هذا الفصل . هل تذكر مثلا ذلك الشكل الخربب الذي نتج عن إسقاط المكعب رباعي الأبعاد ، ستة عشر رأسا واثنيان وثلاثون ضلعا ، وأربعة وعشرون وجها ! فلا عجب من أن يحملق الأشخاص في شكل (٢٦) بدهشة في هذا المخلوق الهندسي الغريب ، ومن وجهة نظرنا الجديدة ، نحن نعتبر المكعب رباعي الأبعاد مكعبا عاديا موجودا في فترة زمنية معينة . وافترض أنك بنيت مكعبا من اثنتي عشرة قطعة من الأسلاك المستقيمة وكان ذلك في الأول من مايو ثم فككت هذا المكعب بعد شهر ، فلا بد أن كل نقطة ركنية من هذا المكعب تعتبر حقا خطا ممتدا في اتجاه الزمن بطول شهر واحد . وبوسعك أن تعلق تقويما زمنيا على كل رأس في المكعب ثم تغير ورقة يوميا لبيان الزمن .



(شكل رقم ٢٨)

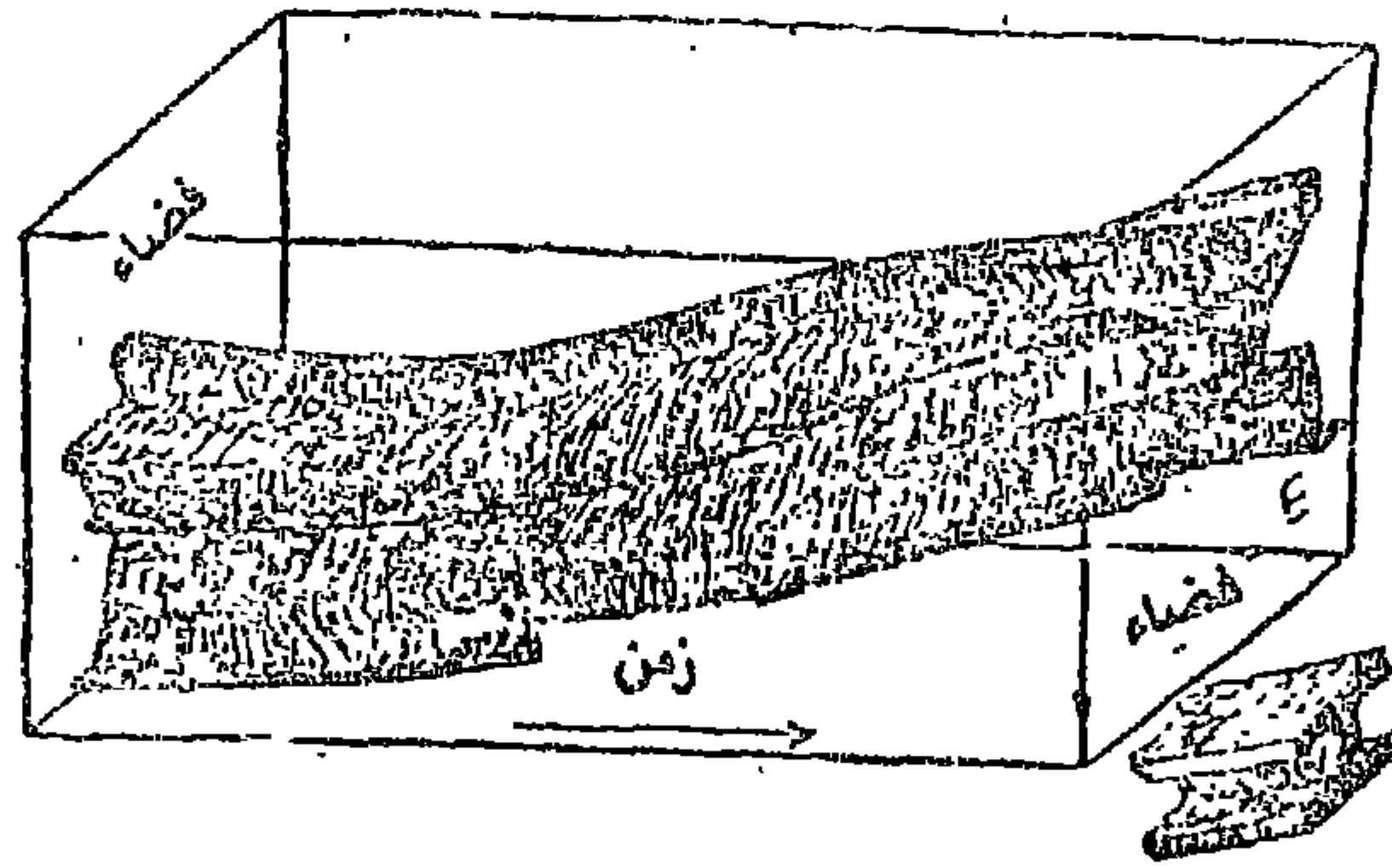
والآن من السهل أن تحصى عدد الأضلاع في شكلنا رباعي الأبعاد ولديك في الحقيقة اثنا عشر ضلعا عند بداية وجود المكعب ، وثمانية أضلاع « زمنية » تمثل عمر كل رأس من رؤوسه ، ثم اثنا عشر ضلعا إضافية في فترة نهاية عمر المكعب (٢) وهي تشكل مجتمعة اثنيان وثلاثين ضلعا.

(٢) ان لم تستوعب ذلك فكر في المربع ذي الأربع نقاط الركنية ، والأربعة جوانب التي تحركها لمسافة معينة بشكل متعامد على سطحه (في الاتجاه الثالث) ، تكون هذه المسافة مساوية لطول الضلع الواحد في المربع .

وبنفس الطريقة نعد مجموع الرؤوس فيصل الى ستة عشر رأسا وهي ثمانية رؤوس في ٧ مايو ، ثم نقيس هذه الرؤوس فضائيا في ٧ يونيو ، ونترك للمقارن عد الوجوه بحيث يكون تدريبا له على نفس الطريقة . وعندما نفعل ذلك لابد أن نتذكر أن بعض هذه الوجوه يعتبر وجوها أصلية للمكعب الأصلي ، بينما تعتبر الوجوه الأخرى « نصف فضائية - نصف زمنية » نشأت عن الأضلاع الرئيسية في مكعبنا ممتدة من ٧ مايو حتى ٧ يونيو .

ان ما قلناه هنا عن المكعب رباعي الأبعاد يمكن تطبيقه بالطبع على أى شكل هندسى أو أى جسم مادي حيا كان أو ميتا .

وفكر في نفسك خاصة كشكل رباعي الأبعاد ، أو نوع من المطاط الممتد في الزمن لحظة ميلادك حتى نهاية عمرك الطبيعي . ومن سوء الحظ أنك لا تستطيع رسم أشياء رباعية الأبعاد على الورق ، ولذا فقد حاولنا في شكل (٢٩) أن نوصل هذه الفكرة باستخدام مثال لرجل ظلي ، ثنائي الأبعاد بحيث يكون اتجاه الزمن واتجاه الفضاء عموديين على السطح ثنائي الأبعاد الذي استقر عليه . وتمثل الصورة مجرد جزء واحد من فترة العمر لرجل ظلي وفترة العمر الكلية لهذا الرجل الظلي لابد أن تمثلها قطعة أطول بكثير من المطاط ، وتكون أكثر استنداقا في بدايتها حيث الرجل في طفولته يتعثر في طريقه لفترة معينة في حياته (النمو) ، ثم يكتسب حجما ثابتا عند وفاته (لأن الموتى لا يتحركون) ثم يبدأ في التحلل .



(شكل رقم ٢٩)

ولكى نصبح أكثر دقة علينا أن نقول ان ذلك المطاط الرباعي الأبعاد يتكون من عدد كبير من الألياف المنفصلة يتركب كل منها من عدد من الذرات المنفصلة ، وتظل أغلب هذه الألياف متحدة معا كمجموعة واحدة عبر الحياة بينما يتساقط قليل منها ، مع تساقط الشعر وقص الأظافر .

ولما كانت الذرات لا تفنى ، فإن تحليل جسم الانسان بعد الموت لابد أن ينظر اليه فى الواقع على أنه تنائر الحيوط المنفصلة فى جميع الاتجاهات (عدا تلك المكونة للعظام على الأرجح) .

وفى لغة الأربعة أبعاد المستخدمة فى الهندسة الفضائية - الزمنية يعرف الخط المعبر عن تاريخ كل ذرة مادية على حدة باسم « خط العالم » (*) ونستطيع بالمثل أن نتكلم عن « حزم العالم » المكونة من مجموعة تعطى شكلا مركبا أجزاءه خطوط العالم .

ونرى فى شكل (٣٠) مثالا فلكيا يبين خطوط العالم للشمس ، والأرض وأحد المذنبات (٣) . وقد استعنا هنا كما فى المثال السابق بفضاء ثنائى الأبعاد (مستوى مدار الأرض) وجعلنا اتجاه المحورين الزمنين متعامدا عليها . ويمثل خط عالم الشمس فى هذا الشكل بخط مستقيم يوازي محور الزمن اذا اعتبرنا الشمس غير متحركة وخط (عالم) الأرض التى تتحرك فى مدار دائرى الى حد كبير يتمثل فى حلزون ملتف حول خط الشمس ، بينما يقترب خط المذنب من خط الشمس ثم يبتعد كثيرا عنه بعد ذلك .

وهكذا نرى أن (الطوبوغرافيا) وتاريخ الكون يمتزجان معا - من حيث هندسة الفضاء رباعى الأبعاد - فيقدمان لنا صورة متجانسة وكاملة ويكفيها النظر الى خطوط العالم التى تعرض لنا حركة الذرات ، أو الحيوانات ، أو النجوم كل على حدة لنخرج بفكرة متكاملة عن هذه الأشياء .

٢ - مقابلة بين الزمن والفضاء . .

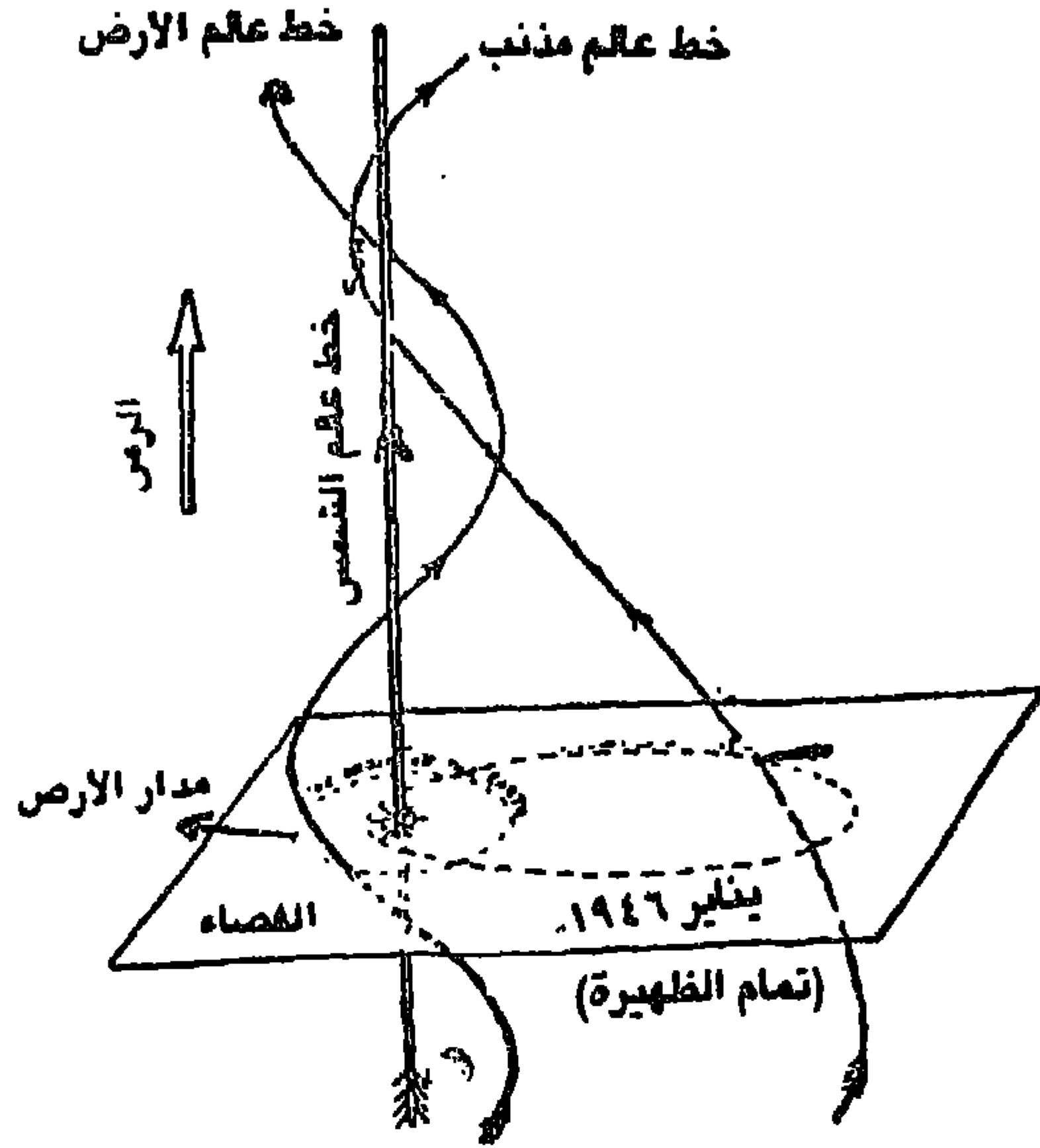
ان اعتبار الزمن بعدا رابعا مكافئا تقريبا للأبعاد الفضائية الثلاثة يؤدى بنا الى مواجهة مشكلة صعبة نوعا ما . فعندما نقيس الطول ، أو العرض أو الارتفاع ، نستطيع فى جميع الحالات أن نستخدم القدم أو البوصة ، علينا أن نستخدم فى قياسنا للبعد الرابع وحدات تختلف

(*) أو الخط الكونى .

(٣) ومن الأنسب هنا أن نتحدث عن « حزم العالم » ولكن يمكن من وجهة نظر الفلك اعتبار النجوم والكواكب بمثابة نقاط .

(٤) والواقع أنها تتحرك بالنسبة للنجوم ، ولذا فبالرجوع الى النظام النجمى نجد أن خط العالم للشمس لابد ان يميل الى جانب واحد ميلا طفيفا .

كلية عن هذا ولتكن الدقائق أو الساعات ، فما وجه المقارنة بينها ؟ اذا تصورنا مكعبا رباعى الأبعاد تبلغ قياساته الفضائية متر \times متر \times متر ، فما المدة التى يلزم لهذا المكعب أن يمتد بها فى الفضاء حتى تتساوى جميع الأبعاد ؟ ثانية أم ساعة أم شهر كما افترضنا فى مثالنا السابق ؟ وهل الساعة الواحدة أطول أم أقصر من المتر الواحد ؟



(شكل رسم ٢٠)

قد يبدو السؤال غير معقول لأول وهلة ، ولكنك اذا أمعنت النظر فيه ستجد أسلوبا منطقيا يمكن به تحويل الفضاء الى زمن . وكثيرا ما تسمع أن شخصا ما « يسكن على بعد عشر دقائق بالاتوبيس من وسط المدينة » أو أن مكانا ما « لا يبعد أكثر من خمس ساعات ونحن نحدد المسافة هنا بالوقت اللازم لقطعها باستخدام وسيلة انتقال معينة .

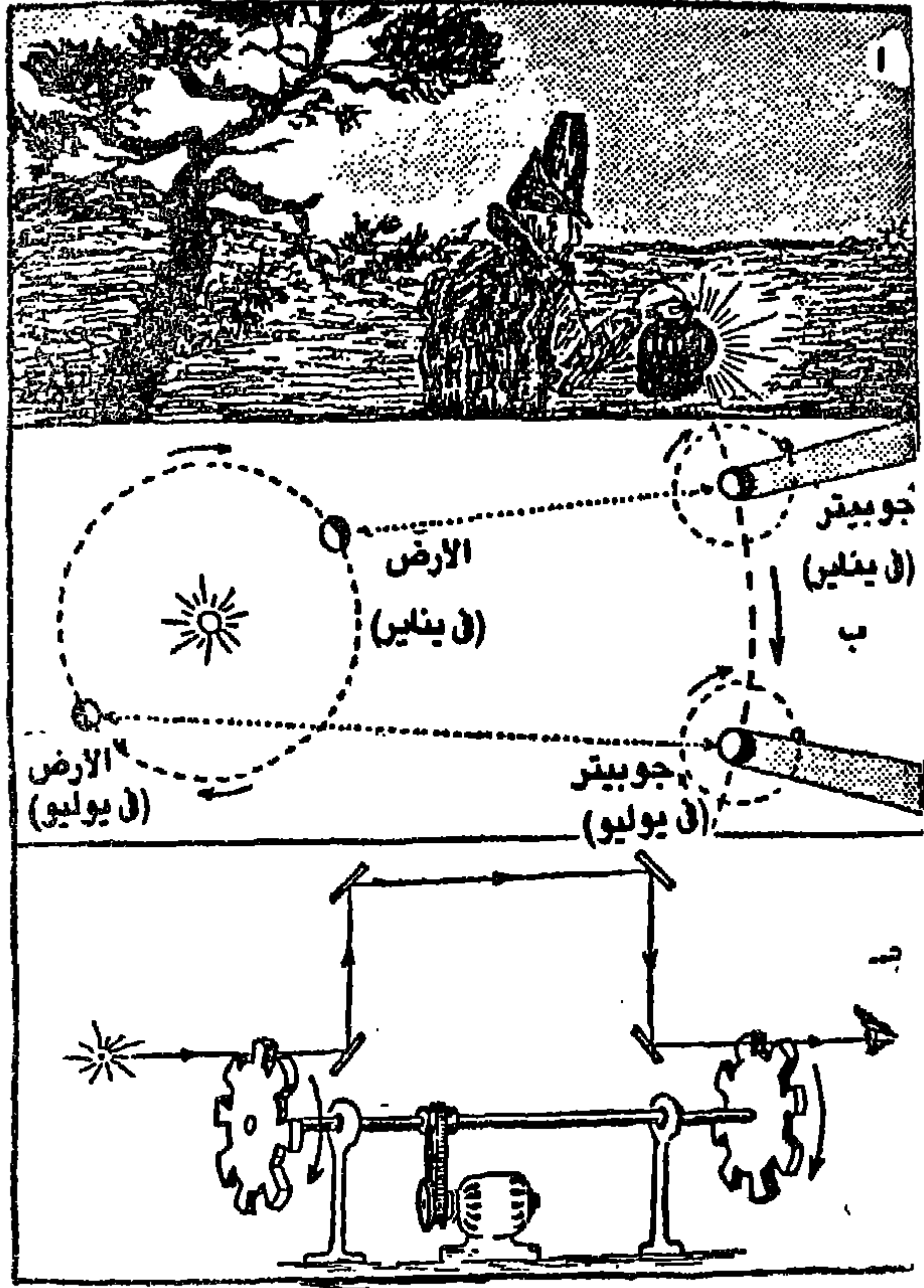
لذا ان استطعنا الاتفاق على سرعة معيارية سوف نتمكن من التعبير عن الفترات الزمنية بوحدات طولية أو العكس .

ويتضح لنا بالطبع أن السرعة المعيارية التى تصلح للاختيار كمعامل أساسى للتحويل من الفضاء الى الزمن لا بد أن تكون ذات طبيعة منتظمة بصفة عامة وخاصة ، وأن تظل ثابتة لا تخضع لتأثير الانسان أو ظروف الطبيعة . والسرعة الوحيدة المعروفة فى الطبيعة بامتلاك هذه الخاصية هى سرعة الضوء عندما ينتقل فى الفضاء الخالى ، وعلى الرغم من أنها

تعرف عادة « بسرعة الضوء » إلا أن الأفضل أن تسمى « سرعة انتشار التفاعلات الطبيعية » إذ أن أيًا من القوى العاملة بين الأجسام المادية سواء كانت قوى الجذب الكهربائي أو الجاذبية تنتشر في الفضاء الخالي بنفس معدل سرعة الضوء . بالإضافة إلى أن سرعة الضوء هي الحد الأقصى لأي سرعة مادية ممكنة ، ولا يمكن لأي شيء أن ينتقل في الفضاء بسرعة أعلى منها ، كما سنرى فيما بعد وقد قام العالم الإيطالي الشهير « جاليليو جاليلي » بأول محاولة لقياس سرعة الضوء في القرن السابع عشر . ففي ليلة مظلمة ذهب جاليليو مع مساعده إلى أرض مفتوحة بالقرب من فلورنسا ومعه فانوسان مجهزان بمفتاح إغلاق ميكانيكي . واحتل الاثنان موقعهما على بعد عدة أميال من بعضهما ، وفي لحظة معينة أضاء جاليليو فانوسه مرسلًا شعاعًا في اتجاه مساعده (شكل ٣١ أ) . وقد كان لدى الآخر توجيه بأن يفتح النور بمجرد أن يرى الإشارة الضوئية الصادرة من جاليليو . وحيث أن الضوء استغرق وقتًا معينًا في الانتقال من جاليليو إلى مساعده ثم إلى جاليليو مرة أخرى ، فقد كان من المتوقع أن تمر فترة ما بين اللحظة التي يفتح فيها « جاليليو » الأضواء واللحظة التي يستقبل فيها الرد الآتي من المساعد وقد لوحظ مرور فترة زمنية قصيرة بالفعل ، ولكن عندما أبعد « جاليليو » مساعده إلى مسافة تساوي ضعف المسافة الأولى وكرر التجربة لم يلحظ أي زيادة في الفترة عن المرة السابقة . وواضح أن الضوء قد انتقل بسرعة كبيرة جدًا إلى درجة أنه عمليًا لم يستغرق وقتًا في قطع بضعة أميال زائدة . وقد كانت الفترة التي سجلها « جاليليو » في التجربة الأولى نتيجة تأخر مساعده في فتح فانوسه في نفس اللحظة التي رأى فيها الضوء - وهي زمن رد الفعل كما نعرفه الآن .

وعلى الرغم من أن محاولة « جاليليو » لم تسفر عن نتيجة إيجابية ولكن أحد اكتشافاته وهو بالتحديد اكتشاف أقمار « المشترى » (جوبيتر) أدى إلى توفير الأساس الذي اعتمدت عليه أول محاولة لقياس سرعة الضوء فعليًا . وفي عام ١٦٧٥ عندما كان العالم الفلكي الدنماركي « رومر » Roemer يراقب خسوف أقمار المشترى لاحظ أن الفترات الزمنية التي يستغرقها القمر في الاختفاء الكلي تحت ظلال الكواكب لا تتساوى في كل مرة ، فأحيانًا تبدو أقصر وأحيانًا تكون أطول وذلك وفقًا للمسافة بين المشترى والأرض في لحظة وقد أدرك « رومر » في الحال (كما سوف يتبين لك بعد فحص شكل ٣١) أن هذا التأثير ليس ناتجًا عن انتظام في حركة أقمار المشترى ، ولكنه يرجع ببساطة إلى أننا نرى هذه الخسوفات بعد فترات زمنية متفاوتة بسبب تفاوت المسافات بين « المشترى » والأرض في كل مرة . وبفضل الملاحظة أصبح بمقدورنا التوصل إلى أن

سرعة الضوء تبلغ حوالى ١٨٦٠٠٠ ميل فى الثانية . علا عجب اذن أن « جاليليو » فشل فى قياس سرعة الضوء اذ أن الوقت الذى استغرقتة الإشارة فى الانتقال منه الى مساعده ثم اليه مرة أخرى لا يزيده على جزء من مئات آلاف الأجزاء من الثانية .



(شكل رقم ٣١)

ولكن ما عجز عنه « جاليليو » باستخدام فانوسه البدائى الآلى الاغلاق أمكن القيام به باستخدام أدوات معملية أكثر تطورا . وفى شكل (٣١ ج) نرى هذا الجهاز الذى كان العالم الفيزيقي الفرنسى « فيزو » Fizeau أول من استخدمه لقياس سرعة الضوء فى مسافات قصيرة نسبيا ويتكون الجزء الرئيسى لهذا الجهاز من عجلتين مسننتين ، وهاتان العجلتان مركبتان على محور مشترك بحيث اذا نظرت الى احدهما

(*) ثبت الآن أن سرعة الضوء الحقيقية هى ١٨٦٢٨٢ ميل/ث (المترجم) .

فى خط مواز للمحور ترى سنون العجلة الأخرى تملأ المسافات بين سننى العجلة الأولى . ولهذا اذا أرسلنا شعاعا من الضوء بموازاة المحور فلن ىشتطيع المرور من الترسين مهما كان وضعهما . والآن لنفرض أن هاتين العجلتين مركبتان على محور دوران سريع . ولما كان ارسال شعاع دقيق بين نتوين فى العجلة الأولى لابد من أن يستغرق وقتا قبل أن يصل الى العجلة الثانية ، فمن الممكن أن يمر الضوء من العجلة الثانية اذا تحركت فى نفس هذا الوقت بمقدار نصف المسافة بين النتوين وهذه الحالة تشبه الى حد ما حالة سيارة تمشى بسرعة مناسبة فى طريق مجهز بنظام من اشارات الوقوف الأتوماتية المتزامنة فاذا تضاعفت سرعة العجلتين ، سيرجع النتوء الى مكانه فى الوقت الذى يصل الضوء اليه وبالتالي يتوقف تقدم هذا الشعاع . ولكن مع زيادة السرعة (*) سيتمكن الضوء من المرور ثانية اذ أن النتوء سوف يكون قد انزاح من طريق الشعاع الضوئى ، وبذا فان الحركة التالية سوف تسمح بازاحة النتوء من طريق الشعاع بحيث يتمكن من المرور وهكذا بملاحظة سرعة الدوران الموافقة لظهور واختفاء الضوء ىستطيع المرء أن يقدر سرعة مرور الضوء فى انتقاله بين العجلتين وعملا على زيادة التشويق وتقليل سرعة الدوران اللازمة ، تستطيع أن تجعل الضوء يقطع مسافة أطول فى المرور بين العجلتين باستخدام المرايا كما يتضح من شكل (٣١ ج) . وفى هذه التجربة وجد « فيزو » أنه استطاع أن يرى الضوء أول مرة من المسافات البينية القريبة منه عندما كانت سرعة الدوران تعادل ١٠٠٠ دورة فى الثانية وقد أثبتت ذلك أنه عند هذه السرعة تحركت النتوءات (السنون) نصف المسافة بينها فى فترة زمنية كافية لانتقال الضوء بين العجلتين . ولما كانت كل عجلة بها ٥٠ نتوءا متماثلا فان نصف المسافة بين نتوين يعادل $\frac{1}{2}$ من طول محيط العجلة ، ووقت الانتقال يساوى نفس الوقت الذى استغرقته العجلة فى دورة كاملة . وبضرب هذه الأرقام فى المسافة التى يقطعها الضوء من عجلة الى أخرى وصل « فيزو » الى أن سرعة الضوء هى ٣٠٠.٠٠٠ كم أو ، ١٨٦.٠٠٠ ميل فى الثانية . وهى تقريبا نفس السرعة التى حسبها « رومر » من مشاهدته لأقمار المشتري .

واقثناء بتجارب هؤلاء الرواد حدثت بعد ذلك قياسات عديدة مستقلة اعتمدت على الفيزياء والفلك . ويعتبر أفضل مقاس معروف لسرعة انتشار الضوء فى الفضاء (ويرمز اليه بحرف (ح) هو :

$$ح = ٢٩٩٧٧٦ كم/ثانية أو ١٨٦٣٠٠ ميل/ثانية$$

(*) تذكر أن السرعة الاولى كانت كفيلا بانتقال النتوء نصف المسافة بينه وبين النتوء الآخر . ولذا فان مضاعفة السرعة تجعله يتحرك مسافة كاملة فيحجب الضوء . المترجم

ويمكن باستخدام هذه السرعة الرهيبة ايجاد معيار ملائم يمكن بواسطته التعبير عن المسافات الفلكية المتناهية البعد والتي نحتاج للتعبير عنها بالكيلومتر أو الميل الى أرقام قد تملأ صفحات هذا الكتاب عن آخره ، فيقول علماء الفلك ان بعد ذلك النجم خمس « سنين ضوئية » تماما كما نقول نجمن عن بلد معين انه على بعد (5) ساعات بالقطار ، فالسنة الضوئية* تساوى $31558000 \times 299776 = 946 \times 10^{12}$ كم أو 5879×10^{12} ميلا باعتبار أن السنة العادية تحتوى على 31558000 ثانية : وباستخدام مصطلح « السنوات الضوئية » فى قياس المسافات . أصبح لدينا اعتراف عملى بأن الضوء بعد رابع ، واعتراف بأن وحدات الزمن تصلح لقياس المسافة . ويمكن أن نعكس هذا الاجراء أيضا بالحديث عن « الأميال الضوئية » ونعنى بها الوقت الذى يحتاجه الضوء فى قطع مسافة ميل واحد . وباستخدام السرعة السابق الإشارة إليها نجد أن الميل الضوئى يساوى 45×10^6 ثانية وأن « القدم الضوئى » يساوى 1.1×10^6 ثانية وهذا كفىل بالاجابة عن سؤالنا الخاص بمكعب رباعى الأبعاد طول ضلعه قدم ، فان البعد الرابع لابد ألا يزيد على 10^6 (حتى يكون مكعبا فعلا) واذا دام وجود المكعب لمدة شهر مثلا يتحول الى قضيب رباعى الأبعاد يمتد مسافة كبيرة على محور الزمن وليس مكعبا .

٣ - المسافة رباعية الأبعاد :

بالاجابة على السؤال الخاص بالوحدات المقارنة الواجب استعمالها فى الفضاء وعلى محور الزمن ، نستطيع الآن أن نسأل أنفسنا سؤالا عما يفهم من تعبير « المسافة بين نقطتين فى فضاء زمنى رباعى الأبعاد » . ويجب أن نتذكر أن كل نقطة فى هذه الحالة تعبر عما يعرف عادة بـ « الحدث » وهى التوليفة المكونة من المكان والتاريخ الزمنى . وحتى نوضح الأمر لنناقش الحدثين التاليين على سبيل المثال :

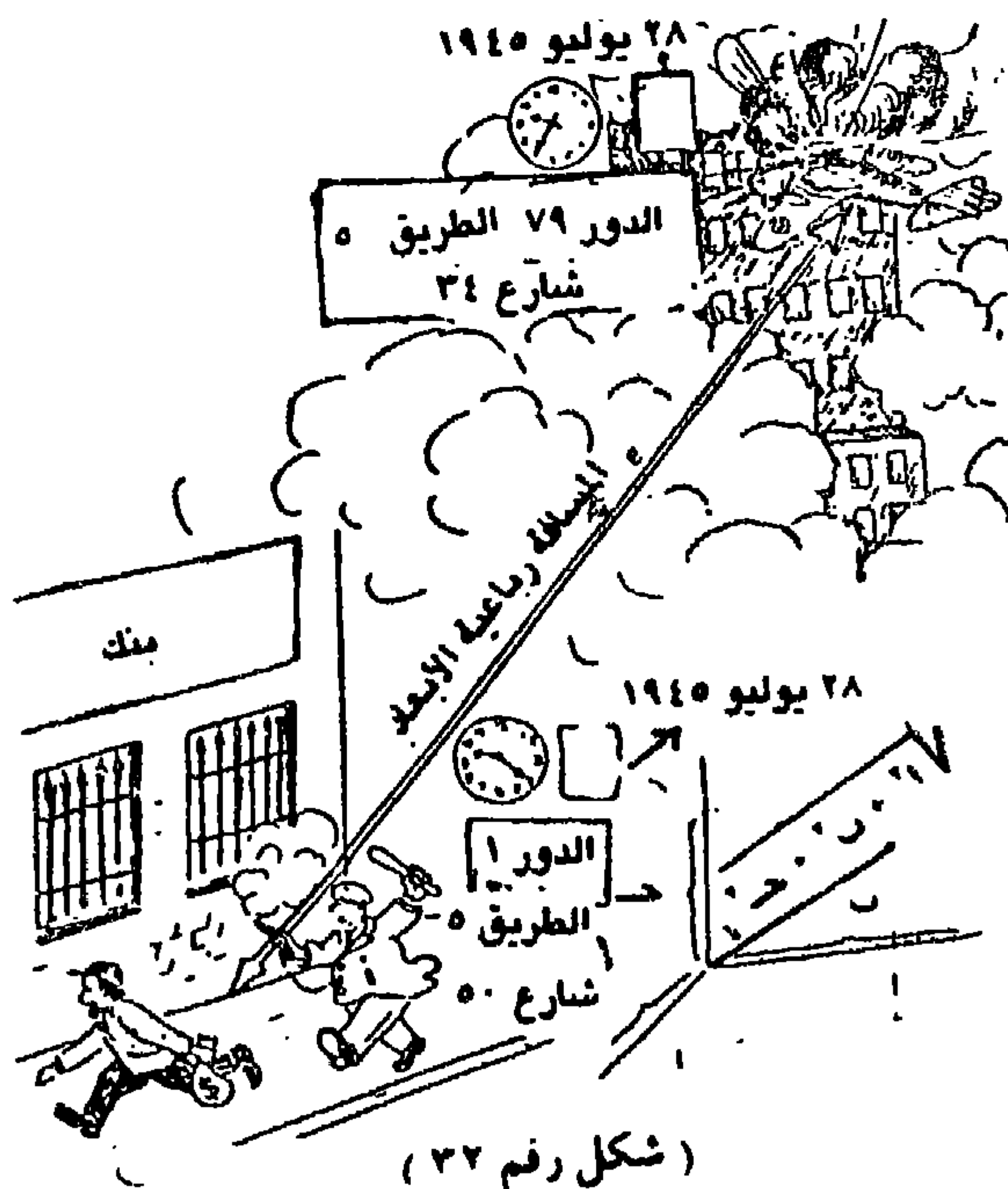
الحدث (١) :

تعرض مصرف يقع فى الطابق الأول من مبنى على ناصية شارع ، لحادث سطو فى الساعة ٩ر٢١ صباحا يوم ٢٨ يوليو .

الحدث (٢) :

فقدت طائرة حربية فى شبورة واصطدمت بالطابق التاسع من عمارة قريبة فى تمام الساعة ٩ر٣٦ صباحا من نفس اليوم .

والمسافة الفاصلة بين هذين الحداث في الفضاء هي ١٦ مبنى شمالا - جنوبا و $\frac{1}{2}$ مبنى في اتجاه شرق - غرب ، و ٧٨ طابقا من حيث الاتجاه العمودي والفاصل الزمني بينهما ١٥ دقيقة . وواضح أنه ليس من الضروري أن نشير الى عدد المباني بالكامل وعدد طوابقها عند وصف المسافة الفاصلة فضائيا بين الشارعين ، حيث نستطيع أن ندمجها في مسافة واحدة مستقيمة بناء على نظرية فيثاغورث المشهورة ، والتي تنص على أن المسافة بين نقطتين في الفضاء تساوي الجذر التربيعي لحاصل جمع الضلعين المتعامدين بينهما (*) (شكل ٢٢ في الركن) . وحتى نطبق نظرية فيثاغورث ينبغي علينا بالطبع أن نستعمل وحدات متشابهة مثل الأقدام في قياس جميع المسافات فإذا كان بعد المبنى شمالا - جنوبا ، وبعده شرقا - غربا يساوي ٨٠٠ قدم ، ومتوسط ارتفاع الطابق في « العمارة » ١٢ قدما أو حوالي ٣ر٥ أمتار فإن قيمة الاحداثيات تصبح ٣٢٠٠ قدم في الاتجاه الشمالي - الجنوبي و (٤٠٠) قدم في الاتجاه الغربي - الشرقي ، و ٩٣٦ قدم في الاتجاه الرأسى . وباستخدام نظرية فيثاغورث تصبح المسافة المباشرة بين الموقعين :

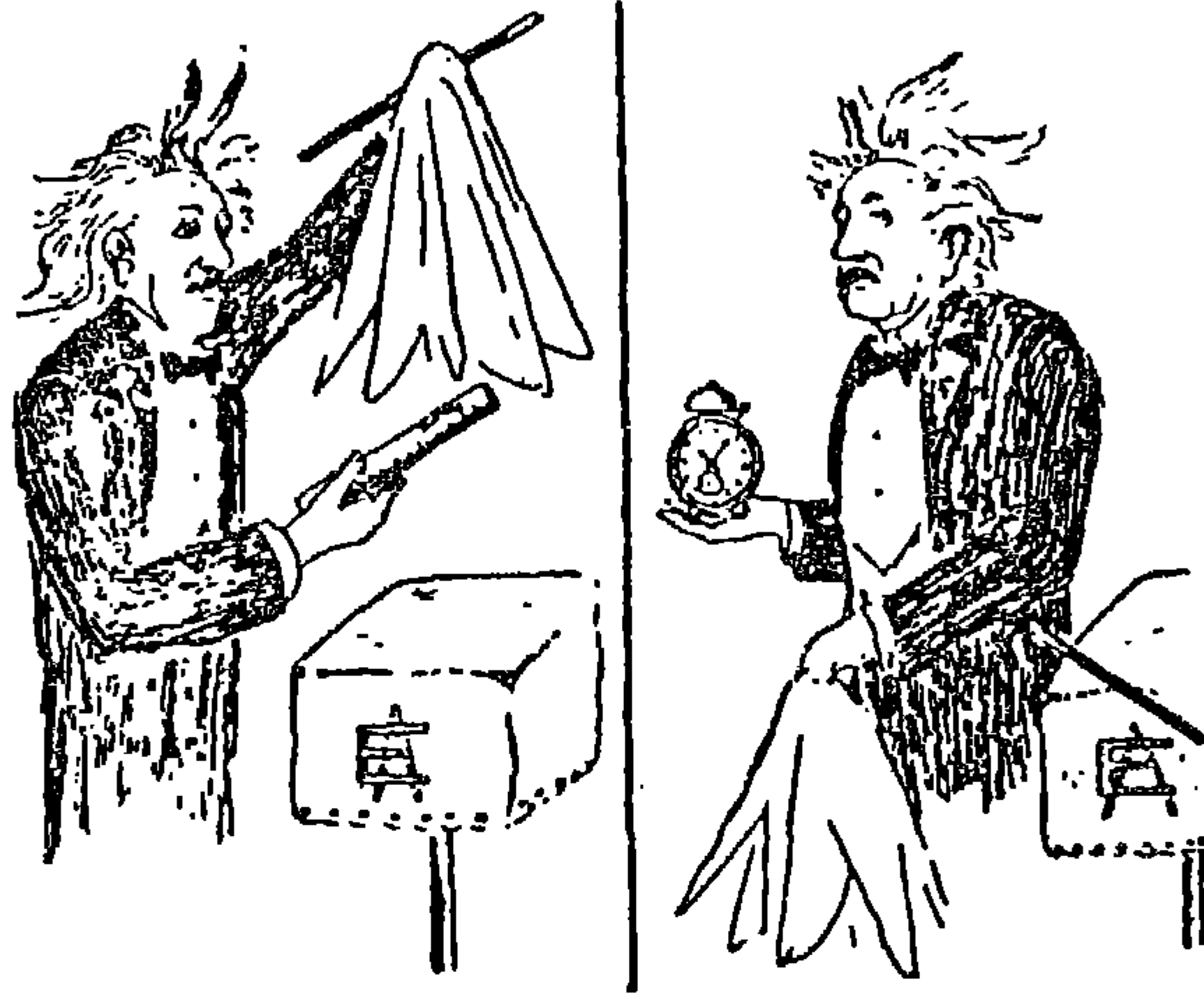


(*) أو الاحداثيات المتعامدة ككل ان كانت تزيد على اثنين (المترجم) .

$$= \sqrt{(936)^2 + (400)^2 + (3200)^2}$$

$$= \sqrt{1128000} = 3360 \text{ قدم}$$

وعندما تكون فكرة الزمن الممثل للبعد الرابع صالحة للتطبيق يصبح بمقدورنا أن نحول الرقم ٣٣٦٠ قدم الى الزمن ١٥ دقيقة فنحنى بذلك أن هذا هو الفاصل الزمني بين الحدثين حتى يكون لدينا رقم واحد يعبر عن المسافة رباعية الأبعاد بين الحدثين .



(شكل رقم ٣٣)

لم ينجح بروفيسور « اينشتين » اطلاقا فى ان يفعل ذلك ولكنه نجح فى القيام بما هو افضل بكثير .

ووفقا لفكرة « اينشتين » الأصلية نستطيع فعلا أن نحدد مثل هذه المسافة رباعية الأبعاد بتعميم بسيط لقاعدة « فيثاغورث » ، وتؤدى هذه المسافة الناتجة دورا أكثر أهمية فى العلاقة الفيزيائية من دور الفاصلين الزماني والمكاني كل على حدة .

فاذا وحدنا البيانات الفضائية مع الزمنية ينبغي بالطبع أن نستخدم وحدات قياس موحدة كالقدم الذى استخدمناه فى تحديد ارتفاع المباني وأبعادها ، وكما رأينا من قبل أن ذلك ممكن بسهولة باستخدام سرعة الضوء كمعامل تحويل وبذلك تتحول الـ (١٥) دقيقة الى ١١٠ × ٨ (قدم ضوئى) . وباستخدام قاعدة فيثاغورث البسيطة نستطيع الآن أن نحدد المسافة بين نقطتين فى فضاء رباعى باعتباره الجذر التربيعى لحاصل جمع مربعات الاحداثيات ، وهى ثلاثة احداثيات فضائية واحداثى زمانى .

ولكن حتى ننجح فى ذلك ينبغى علينا أن نستبعد أى فارق بين الفضاء والزمن ، مما يترتب عليه التسليم بإمكانية تحويل القياسات الفضائية الى قياسات زمنية والعكس بالعكس .

ومع ذلك لم ينجح أحد - حتى أينشتاين العظيم - فى أن يحول العصا المثيرة الى منبه عن طريق اخفائها تحت قطعة قماش وترديد بعض العبارات السحرية مثل « هوكس فوكس بوكس » (شكل ٣٣) .

لهذا اذا كنا سنعترف بالزمن والفضاء معا فى نظرية فيثاغورث فلا بد أن يتم ذلك بأسلوب غير تقليدى الى حد ما بحيث نبقى على بعض الفروق الطبيعية بينهما .

وقد رأى أينشتاين ، أن الفارق الطبيعى بين المسافات الفضائية والفترات الزمنية يمكن اظهاره فى معادلة قاعدة فيثاغورث عن طريق استخدام علاقة سالبة أمام مربع الاحداثى الزمنى . وبذا يمكن تعريف المسافة رباعية الأبعاد بين حدثين على النحو التالى :

هى الجذر التربيعى لمجموع مربعات ثلاثة احداثيات فراغية ناقص مربع الاحداثى الزمنى . وذلك طبعا بعد التعبير عنه بوحدات فراغية وهكذا يمكن حساب المسافة رباعية الأبعاد بين حادثى السطو على البنك واصطدام الطائرة كما يلى :

$$\sqrt{2(3200) + 2(400) + 2(936) - 2(1110 \times 8)}$$

وارتفاع قيمة الحد الرابع الى درجة كبيرة بالنسبة لباقي الحدود مرده الى أن هذا المثال مأخوذ من الحياة العادية وبمقاييسها المعتادة حيث تكون وحدات الزمن صغيرة جدا فاذا ما تعرضنا لحدثين يقعان فى الكون الضخم بدلا من القاهرة الصغيرة نسبيا وجب علينا استخدام وحدات أكثر اتساقا مع بعضها . لذا نختار تفجير القنبلة الذرية الذى تم فى « بكيثى آتول » فى تمام الساعة ٩ صباحا يوم ١ يوليو ١٩٤٦ ، أما الحدث الثانى فليكن سقوط نيزك على سطح المريخ فى نفس اليوم بعد عشر دقائق .

اذن فالفترة الزمنية البينية هى ٥٤×١١١٠ قدم ضوئى بالنسبة الى المسافة الفضائية وهى ٦٥×١١١٠ قدم ضوئى تقريبا وفى هذه الحالة تصبح المسافة رباعية الأبعاد بين الحدثين هى :

$$\sqrt{2(1110 \times 65) - 2(1110 \times 54)} = 2(1110 \times 36) \text{ قدم}$$

وهى قيمة مختلفة رقميا تماما عن قيمة الزمن على حدة والفضاء على حدة وربما اعترض شخص منطقى ، بالطبع ، على هذه الهندسة غير العقلانية

في ظاهرها فنحن هنا نتعامل مع احداثي واحد لطريقة مختلفة عن الثلاثة احداثيات الأخرى ولكن ينبغي ألا ننسى أن أي نظام حسابي يوضع لوصف العالم الطبيعي لابد من أن يصاغ بحيث يتلائم مع الأشياء وطالما أن الفضاء والزمن يختلف سلوك كل منهما عن الآخر في هذه المعادلة فلا بد من صياغة الهندسة رباعية الأبعاد بناء على ذلك وهناك بالإضافة الى ذلك علاج حسابي بسيط يمكن أن يجعل هندسة أينشتاين الرباعية تشبه تماما الهندسة الاقليدية المنطقية كما درسناها في المدرسة . وقد اقترح هذا الصلاح الرياضي الألماني « منكوفسكي » وهو يكمن في اعتبار الاحداثي الرابع قيمة تخيلية محضة وربما تذكر من الفصل الثاني في هذا الكتاب أن بمقدور المرء أن يحول رقما ناديا الى رقم تخيلي بضربه في $\sqrt{-1}$ وأن هذا الرقم التخيلي يمكن استخدامه بسهولة شديدة في حل مشكلات هندسية ووفقا لرأي « منكوفسكي » لابد من ضرب الزمن بعد تحويله الى وحدات فضائية في $\sqrt{-1}$ ، حتى يمكن اعتباره احداثيا رابعا وبذلك تصبح الاحداثيات الأربعة في المثال الأول كما يلي :

الاحداثي الأول : ٣٢٠٠ قدم

الاحداثي الثاني : ٤٠٠ قدم

الاحداثي الثالث : ٩٣٦ قدم

الاحداثي الرابع : $8 \times 1110 \times$ ت قدم ضوئي .

ونستطيع الآن تعريف المسافة رباعية الأبعاد بأنها الجذر التربيعي لمجموع مربعات الاحداثيات الأربعة مرة أخرى . وفي الواقع طالما أن مربع الرقم التخيلي يكون سالبا دائما فان التعبير عن احداثيات « منكوفسكي » باستخدام نظرية فيثاغورث سوف يكون مكافئا للتعبير عن احداثيات أينشتاين باستخدام نظرية فيثاغورث وهو ما كان يبدو غير منطقي وهناك قصة عن رجل كبير في السن أصابه الروماتيزم فسأل صديقا له يتمتع بصحة جيدة عن سر نجاته من هذا المرض ، فأجاب الصديق « لأنني حريص على الاستحمام بدش بارد كل صباح » فأجاب الرجل متعجبا : « يا الهي اذن فعليك أن تعاني من ويلات الماء البارد ، لتنجس من آلام الروماتيزم !! » .

نعم .. اذا كانت نظرية فيثاغورث الشبيهة بالروماتيزم لا تعجبك تستطيع اذن أن تستعمل دش الاحداثي الزمني التخيلي بدلا منها .
وتدفعنا الطبيعة التخيلية للاحداثي الرابع في عالم « الزمن والمكان » تدفعنا الى التعامل مع نمطين من الفواصل رباعية الأبعاد مختلفين فيزيائيا .

والحقيقة أننا فى بعض الحالات مثل التى شرحناها آنفا (مثل حادثة السرقة والصدام) حيث كانت المسافة ثلاثية الأبعاد صغيرة من الناحية العددية بالنسبة للفترة الزمنية (مع استخدام وحدات مناسبة) تصبح قيمة ما تحت علامة الجذر سالبة وهكذا نحصل على عدد تخيلى للفاصل العام رباعى الأبعاد ، ومع ذلك نجد فى حالات أخرى أن الفترة الزمنية أقل من المسافة الفضائية ، وهكذا نحصل على رقم موجب تحت علامة الجذر ، وهذا يعنى بالطبع أنه فى مثل هذه الحالات يكون الفاصل الرباعى الأبعاد بين الحدثين حقيقيا .

ولكن كما قلنا من قبل تعتبر المسافات الفضائية حقيقية فى حين تعتبر الفترات الزمنية تخيلية تماما ، ونستطيع القول ان الفاصل الرباعى الأحداث الحقيقى تكون علاقته أقوى بالمسافات الفضائية العادية ، أما الفاصل الرباعى الأحداث التخيلى فهو أقرب الى الفترات الزمنية . ووفقا لمصطلحات « منكوفسكى » (Minkovsky) يطلق على النوع الأول فضائى Raumartig (*) والفاصل الرباعى من النوع الثانى زمانى (Zeitartig) (*).

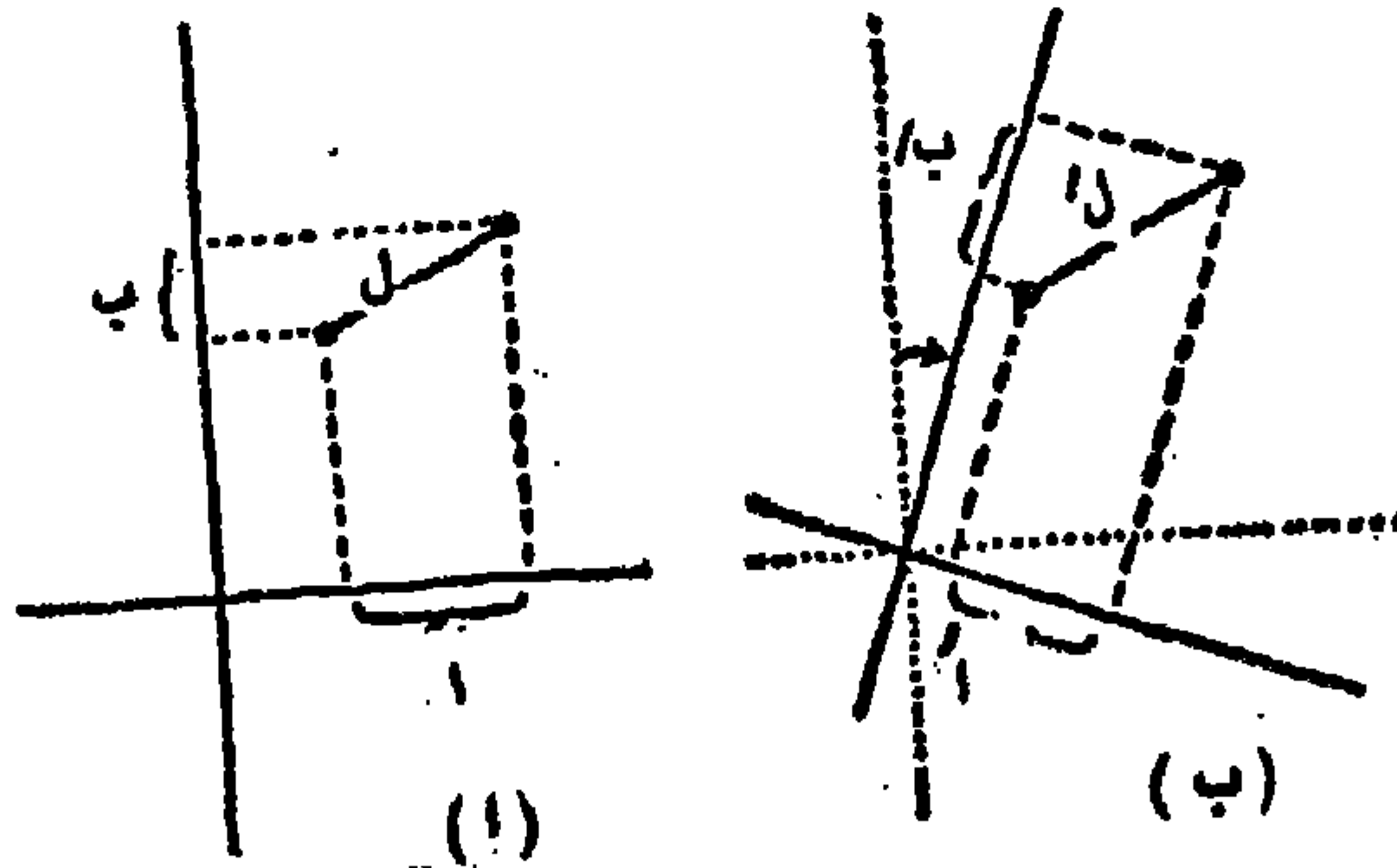
وسوف نرى فى الجزء القادم أن الفاصل الفضائى يمكن تحويله الى مسافة عادية وأن الفاصل الزمنى يمكن تحويله الى فترات بينية عادية ومع ذلك فإن الفكرة التى مؤداها أن أحدهما يعبر عنه باستخدام عدد حقيقى بينما يعبر عن الآخر باستخدام رقم تخيلى تمثل عقبة لا يمكن تخطيها عند محاولة تحويل أحدهما الى الآخر بحيث تعتبر فى النهاية ضربا من المستحيل أشبه بتحويل عصا متريّة الى منبه أو العكس .

الفصل الخامس

نسبية الزمن والفضاء (*)

١ - تحويل الفضاء الى زمن والعكس :

على الرغم من أن المحاولات الرياضية لاثبات وحدة الفضاء والزمن في عالم رباعي الأبعاد لم تنجح في طمس الفارق تماما بين المسافة والزمن إلا أنها قد كشفت بالفعل عن درجة كبيرة من التشابه بين المفهومين ، وهذا أمر لم يكن واضحا إطلاقا في فيزياء ما قبل أينشتاين . والواقع أن المسافات الفضائية والفترات الزمنية الفاصلة بين الأحداث المختلفة يجب النظر إليها الآن باعتبارها مجرد إسقاطات للفاصل الأساسي رباعي الأبعاد بينها على محوري الفضاء والزمن ، لذا فإن تدوير المحور الرباعي المتعامد قد يؤدي إلى تحويل المسافات إلى فترات جزئيا والعكس بالعكس . ولكن ما معنى تدوير المحور الفضائي الزمني الرباعي الأبعاد ؟ .



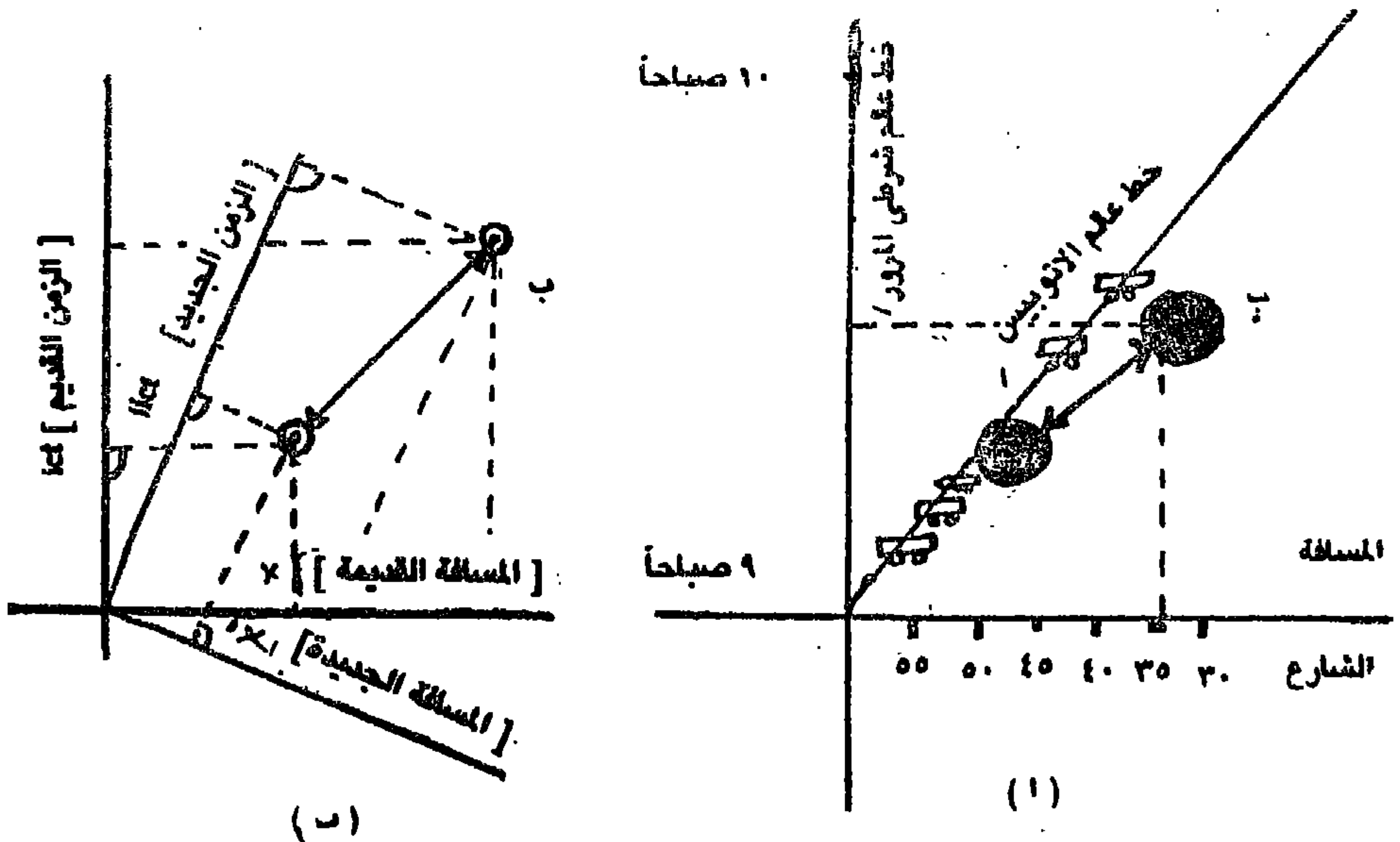
(شكل رقم ٣٤)

(*) يلاحظ أن كلمة space يمكن أن تترجم بالفضاء والفراغ والمكان ، وقد استخدمت في هذا الفصل كلمة فضاء لتدل على هذه الكلمات التسلات مجتمعة كمتقابل للزمن . (المترجم) .

لنبدأ أولاً بمحورين متعامدين مؤلف من احداثيين فضائيين (انظر الشكل ٣٤ أ) وافترض أن لدينا نقطتين محددتين تبعـدان عن بعضهما بمسافة ولتكن ل . وباسقاط هذه المسافة على المحورين المتعامدين نجد أن الفاصل بين النقطتين يساوى (أ) قدم على المحور الأول و (ب) قدم على المحور الثانى . فاذا دار المحوران بزاوية معينة (شكل ٣٤ ب) فان اسقاط نفس المسافة على المحورين الجديدين ، سيتغير ، وسيأخذ الاسقاطان الجديـدان قيمتين مختلفتين هما a' ، b' . ومع ذلك فوفقاً لنظرية فيثاغورث ، يبقى الجذر التربيعى لمجموع مربعى الاسقاطين بنفس القيمة اذ أنه يعبر عن المسافة الفعلية بين النقطتين ، فهذه المسافة لا تتأثر بتدوير المحورين

$$L = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{a'^2 + b'^2}$$

ونقول ان الجذر التربيعى لمجموع المربعين لا يتأثر فى هذه العملية أى « لا متغير » أو « لازم » (invariant) بينما تتغير قيم الاسقاطات وحدها ذلك أنها قيم اتفاقية (incidental) تتوقف على نوع نظام الاحداثيات المختار .



أسلوب اينشتين

(شكل رقم ٣٥)

الاسلوب التقليدى

والآن ننتقل الى دراسة احداثيين (محورين) متعامدين يمثل أحدهما المسافة ويمثل الآخر الزمن . وفى هذه الحالة يجعل الحدثان محل النقطتين فى مثالنا السابق ، ويعبر الاسقاطان على المحورين عن الفاصل بينهما فى

الفضاء والزمن على الترتيب . وبأخذ حادثي السطو وتحطم الطائرة السابق ذكرهما يمكننا أن نضع رسماً بيانياً (شكل ٣٥ أ) يشبه إلى حد كبير الرسم البياني السابق (شكل ٣٤ أ) ، والآن ماذا نفعل لكي ندير المحورين المتعامدين ؟ والاجابة على هذا السؤال غير متوقعة بالمرّة بل انها تبعث على العجب .

فاذا أردت أن تدير محوري الفضاء - الزمن اركب أتوبيساً !!
ليكن . . افترض أنك ركبت فعلاً في الدور العلوي لأتوبيس يتحرك في الشارع الذي شهد الحادثين ، صباح يوم ٢٨ يوليو المشنوم (من وجهة نظرنا الخاصة) من الطبيعي أن تولى اهتمامك الرئيسي لدى بعد الاتوبيس عن مكان وقوع الحادثين (السطو واصطدام الطائرة) ولو لمعرفة امكانية مشاهدة الحادثين من ذلك المكان على الأقل .

فاذا نظرت الى شكل (٣٥ أ) الذي يبين التتابع في مسار خط الاتوبيس فضلاً عن حادثي السطو والاصطدام ستلاحظ أن هذه المسافات تختلف عن المسافات التي قد يسجلها مثلاً شرطي مرور من الناصية .
وحيث ان الاتوبيس يقطع طريقه في الشارع بسرعة مبنى كل ثلاث دقائق مثلاً (وهو أمر غير مستغرب في مرور المدينة المزدحم !) ، فان الفاصل الفضائي بين الحادثين كما يرى من الاتوبيس يبدو أصغر . ولما كان الاتوبيس بصدد عبور الشارع الذي شهد حادثة السطو في الساعة ٩ر٢١ فان حادث السطو الذي وقع في هذه اللحظة كان بعد بنائتين منه .
وفي الوقت الذي وقعت فيه حادثة الطائرة (٩ر٣٦ صباحاً) كان الاتوبيس في الشارع الذي وقعت فيه حادثة الطائرة ، أى على بعد ١٣ بناية من مسرح الحادث . وهكذا بقياس المسافة بالنسبة للاتوبيس نجد أن البعد الفضائي بين السطو وحادث الطائرة $= ١٣ - ٢ = ١١$ مبنى ، وهذا يختلف عن قياس المسافة بالنسبة لمباني المدينة $= ٥٠ - ٣٤ = ١٦$ مبنى .
ونظرة ثانية على الشكل (٣٥ أ) تبين لنا أن المسافة المأخوذة من الاتوبيس لا يجب أن تقاس من المحور الرأسى (حيث خط العالم لرجل الشرطة الواقف ، كما في المثال السابق ، بل من الخط المائل المعبر عن خط عالم الاتوبيس اذن فهذا الخط هو محور الزمن الجديد .

ونخرج من هذا الهراء بنتيجة واحدة تتلخص في الآتي : لرسم شكل بياني (فضائي - زمني) للأحداث وفقاً لرؤيتها من سيارة متحركة ، لابد من تدوير محور الزمن بزاوية معينة (تعتمد على سرعة هذه السيارة) بشرط عدم المساس بمحور الفضاء .

وعلى الرغم من أن الفيزيقيين الكلاسيكيين ينظرون الى هذه الجملة باعتبارها أمراً بديهياً ، ويعتبرونها من « الفطرة السليمة » الا أنها

تتعارض مباشرة مع أفكارنا الجديدة فيما يتعلق بالعالم الفضائي الزمني. الرباعي الأبعاد . فإذا كان الزمن حقا هو الاحداثى المستقل الرابع فلا بد أن يعتمد محوره دائما على الثلاثة محاور الفضائية سواء أكان جلوسنا فى الاتوبيس أم فى الترولى أم على الرصيف ! .

يجب أن نختار بين أسلوبين من أساليب التفكير فاما أن نبقى على الفكر الكلاسيكى موضحين فى ذلك بأى دراسة متقدمة فى هندسة توحيد الفضاء والزمن ، واما أن نهجر هذه الأفكار التى تملئها علينا « الفطرة السليمة » ونسلم بضرورة تدوير محور الفضاء أيضا مع محور الزمن فى الرسم البيانى حتى يظل المحوران متعامدين دائما مع بعضهما (شكل ٣٥ ب) وبالنسبة للملاحظة من سيارة متحركة فإن دوران محور الفضاء يعنى أن الفاصل الزمنى بين الحدثين من السيارة يختلف عن الفاصل الزمنى بينهما بالنسبة لشخص يقف فى نقطة ثابتة على الأرض . تماما كما كان دوران محور الزمن سببا من الناحية الفيزيائية فى اختلاف قيمة الفاصل الفضائى بين حدثين (١١ ، ١٦ مبنى فى المثال السابق) . لذا فإذا كان الفاصل بين السطو على البنك وحادث الطائرة ١٥ دقيقة طبقا لساعة ميدان المدينة ، فإن هذا الوقت سيختلف فى ساعة راكب الاتوبيس - لا لأن هناك عطلا فى احدى الساعتين أو اختلافا فى معدلتهما ، ولكن لأن الوقت نفسه يمر بمعدلات مختلفة فى السيارات التى تتحرك بسرعات مختلفة ، ولأن النظام الفعلى لتسجيل الوقت يتأخر بالمثل . وذلك على الرغم من أن الفارق يكون ضئيلا جدا لدرجة ألا نشعر به فى السرعات المنخفضة كسرعة الاتوبيس (سوف نناقش هذه الظاهرة باستفاضة فى هذا الفصل) .

وكمثال آخر دعنا نفكر فى رجل يتناول عشاءه فى عربة قطار يتحرك وهو بالنسبة للجرسون ، ومن وجهة نظره ، يتناول المشهيات والحلوى فى نفس مكانه (المائدة الثالثة بجانب النافذة) ولكن من وجهة نظر عاملى تحويلة واقفين عند نقطتين ثابتتين على شريط السكة الحديد وينظران الى العربة من خلال نافذتها ، فسوف يراه أحدهما يتناول المشهيات ويراه الآخر يتناول الحلوى - وهذان الحدثان يقعان بالنسبة لهما على بعد أميال عديدة من بعضهما . لذا بمقدورنا أن نقول ان حدثين يقعان فى نفس المكان ، ولكن فى لحظتين مختلفتين من وجهة نظر مشاهد واحد ، سوف يعتبران كما لو كانا واقعين فى مكانين مختلفين اذا شوهدا من قبل مشاهدين آخرين فى حالة أو حالات مختلفة من الحركة .

وعملا على الوصول الى المقابلة المنشودة بين الفضاء والزمن لنستخدم في العبارة السابقة كلمة « مكان » بدلا من « لحظة » والعكس بالعكس وسوف نقرأ الجملة كما يلي :

ان حدثين يقعان في نفس اللحظة ، ولكن في مكانين مختلفين من وجهة نظر مشاهد واحد سوف يعتبران كما لو كانا واقعين في لحظتين مختلفتين اذا شاهدهما مشاهد آخر في حالة مختلفة من الحركة .

وتطبيقا على مثال عربة العشاء . لابد من أن نتوقع أنه في حين أن الجرسون سيقسم أن راكبين جالسين مقابل بعضهما في نهاية العربة قد أشعلا سيجارة بعد العشاء في نفس اللحظة تماما فان عامل التحويلة الواقف على شريط السكة الحديدية والناظر من خلال النافذة (دون أن يتحرك) أثناء مرور القطار أمامه سوف يصر على أن أحدهما قد أشعل سيجارته قبل الآخر .

اذن فان حدثين متزامنين - من وجهة نظر أحد المشاهدين - سوف يعتبران - من وجهة نظر مشاهد آخر - منفصلين بفترة زمنية معينة .

وهذه هي النتائج الحتمية للهندسة رباعية الأبعاد والتي لا يزيد الزمن والفضاء فيها على كونهما اسقاطين لفاصل ثابت رباعي الأبعاد على محورين متقابلين .

٢ - رياح الأثير ، ورحلة الشعري اليمانية :

ولنسأل أنفسنا الآن . . هل مجرد الرغبة في استخدام الهندسة رباعية الأبعاد تبرر هذا التغيير الثوري في أفكارنا التي اطمأنت اليها أنفسنا عن الفضاء والزمن ؟

وبالنسبة لنا فالاجابة هي نعم . . فنحن نتحدى النظام الفيزيقي الكلاسيكي بأكمله ، الذي يقوم على التعريفات التي وضعها العالم العظيم « اسحق نيوتن » منذ قرنين ونصف : « الفضاء المطلق في حد ذاته ودون علاقة بأي مؤثر خارجي - هو فضاء متجانس وثابت دائما » وكذا « الزمن المطلق المحسوب رياضيا هو بطبيعته وفي حد ذاته زمن يمر بانتظام وليس له علاقة بأي مؤثر خارجي » . وعندما كتب « نيوتن » هذه السطور لم يخطر بباله طبعاً أنه قد أضاف شيئا أو طرح موضوعا قابلا للجدل ، فما زاد على أن صاغ بلغة دقيقة مفاهيم الزمن والفضاء كما تتضح لأي شخص بالحس الفطري . والحق أن الايمان بسلامة هذه الأفكار التقليدية عن الفضاء والزمن كان ايمانا مطلقا حتى ان الفلاسفة اعتبروها من

المسلمات ، ولم يسبق لعالم (ناهيك عن الرجل العادى) أن ناقش امكانية خطأ هذه الأفكار وبالتالي حاجتها الى اعادة النظر والتقييم من جديد .

اذن فقد كان التخلي عن الأفكار الكلاسيكية عن الزمن والفضاء ، والتوجه الى فكرة اتحادهما معا فى صورة رباعية الأبعاد ضرورة لم تفرضها علينا رغبة « أينشتين » فى توحيدهما ولا عبقريته الرياضية واصراره ، ولكن فرضتها الحقائق العنيدة التى تفجرت من البحث العلمى الواحد تلو الأخرى ، وأثبت أن تنصاع الى الصورة الكلاسيكية عن استقلالية الزمن والمكان عن بعضهما .

وقد كان أول زلزال هز صروح الفيزياء الكلاسيكية ودكها دكا ، كما تهاوت جدران « أريحا » أمام صوت نكير « يوشع » . الا أن الزلزال فى هذه المرة كان تجربة بسيطة تمت على يدي فيزيائى أمريكى هو « أ.أ مايكلسون » Michelson عام ١٨٨٧ . وقد كانت فكرة « مايكلسون » بسيطة للغاية ، وتقوم على تصور فيزيقى للضوء باعتباره نوعا من الحركات الموجية التى تنتقل عبر ما يطلق عليه « الأثير الحامل للضوء » وهى مادة مفترضة تملأ الفضاء النجمى بشكل متجانس كما تتخلل الفواصل بين الذرات فى الأجسام المادية .

ألق حجرا فى مستنقع وسوف تجد الموجات تنتشر حوله فى كافة الاتجاهات . وكذا يكون الضوء المنبعث من أى جسد لامع على هيئة موجات ، وبالمثل الصوت الناتج عن شوكة رنانة مهتزة . ولكن فى حين أن الموجات السطحية تعبر بوضوح عن حركة جزيئات الماء والموجات الصوتية عن ذبذبات الهواء أو المواد الأخرى التى ينتقل الصوت من خلالها ، فاننا لا نعلم أى وسيط مادي مسئول عن حمل الموجات الضوئية . والحق أن الفضاء الذى ينتقل الضوء خلاله بسهولة شديدة (بالمقارنة مع الصوت) هو فضاء خال تماما !

ولما كان من غير المنطقى فيما يبدو أن نتحدث عن تذبذب شىء فى الوقت الذى لا يوجد فيه هذا الشىء أصلا ، فقد كان على علماء الفيزياء أن يستحدثوا مفهوما جديدا وهو « الأثير (ether) الحامل للضوء » وذلك لتوفير فاعل مادي للفعل « يتذبذب » . ومن وجهة نظر قواعد اللغة البحتة التى تستلزم أن يكون لكل فعل فاعل لا يمكن الاعتراض على وجود « الأثير الحامل للضوء » ولكن - ضع ما تشاء من الخطوط تحت « لكن » هذه - قواعد اللغة لا يمكن أن تصف لنا الخواص الطبيعية للكلمات التى يجب استخدامها لبناء جملة صحيحة ! .

(*) أثبت أينشتين فيما بعد خطأ هذا الافتراض (المترجم) .

واذا قلنا ان الضوء ينتقل عبر الأثير الضوئي معرفين هذا الأثير بأنه الوسط الذي تنتقل خلاله الموجات الضوئية فاننا بذلك نطرح أمراً مسلماً به ، ولكننا لا نأتى بجديد . فاكشفاف ماهية الأثير الضوئي أمر يختلف تماماً عن اكتشاف خواصه وهنا لن تجدى الاستعانة بقواعد اللغة (ولو كانت الفصحى !) ولا بد للجواب أن يأتى من علم الفيزياء .

وكما سوف نرى فى سياق المناقشة التالية ، ان أفدح أخطاء فيزياء القرن التاسع عشر انما تكمن فى الافتراض بأن هذا الأثير الضوئي له خواص شبيهة جداً بخواص المواد الطبيعية المألوفة لنا ، اذ اعتاد العلماء آنذاك على الحديث عن المرونة ، والصلابة ، والخواص المطاطية ، بل وعن الاحتكاك الداخلى للأثير الضوئي ، ومن قبيل ذلك مقارنتهم لسلوك الأثير الضوئي بسلوك المواد الصلبة المتذبذبة عند حمله للموجات الضوئية (١) ، هذا من جهة . ومن جهة أخرى اعتبروه مادة كاملة المرونة عديمة المقاومة لحركة الأجسام الكونية وشبهوه ببعض المواد مثل شمع الأختام . فشجع الأختام - وغير ذلك من المواد الشبيهة به - معروف بصلابته وسهولة انكساره. تحت تأثير القوى السريعة ذات الطبيعة الميكانيكية ، ولكنه ينساب كالعسل بفعل وزنه اذا ترك بمعزل عن غيره لفترة كافية . ونتيجة لهذا القياس افترضت الفيزياء الكلاسيكية أن الأثير الضوئي الذى يملأ فضاء الكون يسلك سلوك الأجسام الصلبة مع الحركة السريعة جداً التى تصاحب انتشار الضوء ، ولكنه يسلك سلوك السائل تماماً ، عندما تشق الكواكب والنجوم طريقها فيه بسرعة أقل من سرعة الضوء بآلاف المرات .

وسرعان ما تبين العلماء خطأ تلك الافتراضات التى سعت الى تفسير طبيعة مادة مجهولة لا نعرف عنها سوى اسمها بأعمال الخيال ومقارنتها ببعض خواص المواد المألوفة لنا . ورغم كثرة المحاولات الا أنها أسفرت عن استحالة تقديم أى تفسير مقبول لهذا الحامل للضوئي الغامض وخواصه الميكانيكية .

أما الآن ، وفى ضوء علوم العصر ، نستطيع أن نصل بسهولة الى موضع الخطأ فى تلك المحاولات . فمن المعروف أن كافة الخواص الميكانيكية للمواد العادية يمكن ارجاعها الى التفاعل بين ذرات هذه المواد . فعلى سبيل المثال تعتمد سيولة الماء ، ومرونة المطاط ، وصلادة الماس على أن جزيئات

(١) بالنسبة للموجات الضوئية ثبت أن الذبذبات تكون عمودية على اتجاه حركتها وفى المواد العادية لا يحدث هذا النوع من الذبذبات الا فى الأجسام الصلبة . بينما لا يمكن للجزيئات أن تتحرك الا فى اتجاه سير الموجة بالنسبة للسوائل والمواد الغازية .

الماء يمكنها أن تنزلق على بعضها دون احتكاك شديد بينما يمكن لجزيئات المطاط أن تغير شكلها بسهولة ، أما الماس فترتبط جزيئات بلوراته فيما بينها بروابط قوية مما يجعلها في النهاية مادة شديدة الصلادة . وهكذا فإن كل الخواص الميكانيكية المعروفة للمواد المختلفة تعتمد على بنائها الذرى ، ولكن هذه القاعدة لا قيمة لها ونحن بصدد مادة مطابقة متصلة مثل الأثير الضوئى كما نعرفه .

فالأثير الضوئى يعد من المواد الغريبة فى نوعها ، إذ انها لا تشبه هذا البناء الذرى المتراص الذى نطلق عليه عادة كلمة مادة ، ونستطيع أن نطلق على الأثير الضوئى كلمة « مادة » (بشرط عدم استخدام هذه الكلمة الا باعتبارها الفاعل لغويا لكلمة « يهتز ») ولكننا نستطيع أن نسميها « فضاء » وأن نضع فى اعتبارنا - كما رأينا من قبل وكما سنرى فيما بعد - أن الفضاء قد يمتلك خواصا معينة سواء من ناحية الشكل أو البنية تجعله شيئا أكثر تعقيدا من مفهوم الفضاء فى الهندسة الاقليدية والواقع أن مصطلح « الأثير الضوئى » (المأخوذ عن الخواص الميكانيكية المزعومة له) ومصطلح « الفضاء الفيزيقي » يعتبران مرادفين لنفس الشيء .

ولكننا بذلك نكون قد حددنا كثيرا عن هدفنا الى التحليل الفلسفى أو الذهنى للأثير الضوئى ، ولابد لنا من العودة ثانية الى موضوع تجربة « مايكلسون » وفكرة هذه التجربة بسيطة للغاية كما أشرنا من قبل . فإذا كان الضوء يمثل الموجات التى تنتقل عبر الأثير ، فلا بد أن سرعة الضوء المسجلة على الأرض قد تأثرت بحركة هذه الأرض فى الفضاء . وبوقوفنا على الأرض التى تتحرك فى المدار الخاص بها حول الشمس لابد من أن نشعر « برياح الأثير » تماما كما يحس الواقف على ظهر السفينة بحركة الريح التى تهب على وجهه ، على الرغم من أن الجو قد يكون غاية فى الهدوء . ونحن لا نشعر بالطبع برياح الأثير طالما أنه يفترض قدرتها على المرور من بين ذرات أجسامنا دون أى صسعية ولكن لابد من أننا نستطيع أن نكتشف وجود الرياح الأثيرية بقياس سرعة الضوء فى مختلف الاتجاهات بالنسبة لحركتنا .

وكلنا يفهم أن سرعة الصوت تزيد كثيرا فى اتجاه الريح عنها عندما تكون عكس اتجاهه ، وطبيعى أن نفس الشيء ينطبق على انتشار الضوء فى اتجاه الرياح الأثيرية وعكس هذا الاتجاه . وأسهل الطرق لتحقيق ذلك هو طبعاً أن نأخذ جهاز قياس سرعة الضوء الذى وصفناه من قبل (شكل ٣١) فنجرى عليه سلسلة من التجارب فى اتجاهات مختلفة .

على أن ذلك لا يعتبر أسلوباً منطقياً جداً في هذا المجال ، ذلك أنه يستلزم توفير درجة عالية جداً من الدقة في كل مرة . والحقيقة أنه طالما كان الاختلاف المتوقع (والمساوى لسرعة الأرض) لا يزيد على جزء من مئة جزء من الثانية من سرعة الضوء ، فلا بد من القيام بكل تجربة على حدة مع توفير درجة عالية من الدقة وإذا كان لديك « عصوان » من نفس الطول تقريباً ، وأردت معرفة الاختلاف في طوليهما بدقة يمكنك أن تفعل ذلك بسهولة عن طريق وضعهما بجانب بعضهما بقياس الفارق عند أحد الطرفين .

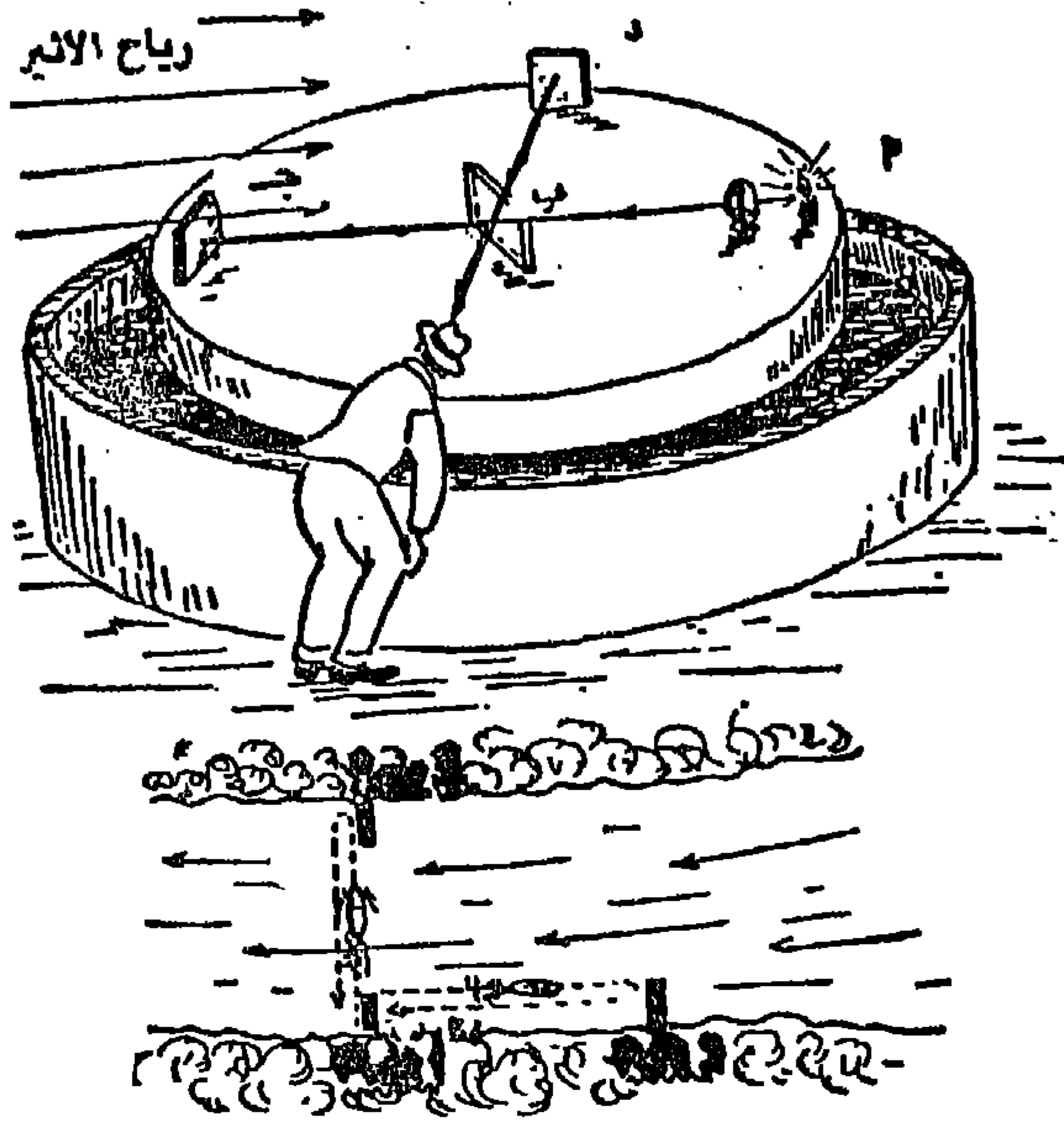
وتعرف هذه الطريقة بطريقة « نقطة الصفر » .

ويستفيد جهاز « مايكلسون » الموضح في شكل (٣٦) من طريقة نقطة الصفر في المقارنة بين سرعتي الضوء في مستويين متعامدين على بعضهما .

والجزء الأوسط في هذا الجهاز عبارة عن لوح زجاجي (ب) مغطى بطبقة نصف شفافة من الفضة ، وهي تعكس ٥٠٪ من الضوء الساقط عليها وتمر منها الـ ٥٠٪ الباقية . ولذا فإن شعاع الضوء الصادر من المصدر (أ) ينقسم إلى جزأين متساويين يمران في مسارين متوازيين . ثم ينعكس الشعاعان من المرآتين (ج) و (د) الموضوعتين على مسافتين متساويتين من اللوح الزجاجي ويرتدان مرة أخرى إليها . فأما الشعاع المنعكس عن (د) فيمر نصفه من الطبقة الفضية الرقيقة ليتحد مع الشعاع المنعكس عن (ج) جزئياً بفعل نفس هذه الطبقة . وهكذا يتحد الشعاعان اللذان انفصلا في البداية لتستقبلهما عين المشاهد وكأنهما شعاع واحد . ولما كان علم البصريات يتضمن قانوناً مشهوراً يقضي بأن الشعاعين يتداخلان وينشأ عن ذلك شبكة من الهدب المظلمة والمضيئة المرئية بالعين ، بحيث إذا كانت المسافة (ب د) تساوي المسافة (ب ج) مما يجعل الشعاعين يصلان إلى اللوح (ب) في نفس اللحظة -- فإن الجزء المضيء لابد أن يتوسط الصورة . أما إذا اختلفت المسافتان اختلافاً طفيفاً بحيث يتأخر أحد الشعاعين عن الآخر فإن الهدب المضيئة تنحرف إما يميناً وإما يساراً .

ولما كان الجهاز موضوعاً على سطح الأرض التي تتحرك في الفضاء بسرعة فمن المتوقع أن تهب رياح الأثير على الجهاز بنفس سرعة حركة الأرض ونفترض مثلاً أن هذه الرياح تتجه من ب إلى ج (كما نرى في شكل ٣٦) فما تأثير ذلك على سرعة الشعاعين ؟ وما تأثيره أيضاً على وقت وصول كل منهما إلى نقطة الالتقاء ؟

تذكر أن أحدهما ينتقل في البداية ضد اتجاه الريح ثم يعود معها ، أما الآخر فيسير متعامدا على الريح في الذهاب والاياب فأيهما يصل أولا ؟



(شكل رقم ٣٦)

تخيل نهرا يجرى فيه قارب بموتور ضد التيار من رصيف (١) الى رصيف (٢) ثم يعود ثانية الى رصيف (١) . فالتيار يعوق حركته في الجزء الأول من الرحلة ثم يزيد سرعته في طريق العودة . وربما ظننت أن هذا يعوض ذاك ، ولكن هذا غير صحيح . وحتى نوضح ذلك افرض أن القارب يتحرك بسرعة تساوى سرعة التيار . وفى هذه الحالة لن يتمكن القارب من التحرك من رصيف (١) والوصول الى رصيف (٢) اطلاقا ! . ومن السهل أن نفهم أن وجود التيار يعوق حركة القارب زمنيا بمعامل معين وقدره :

$$\frac{1}{1 - \left(\frac{v}{c} \right)^2}$$

وهو معامل واحد في كل الحالات حيث (س) سرعة القارب و (س) سرعة التيار (٢) . فاذا كان القارب مثلاً يتحرك بأسرع من سرعة التيار عشرة مرات فإن رحلة العودة تستغرق :

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{10}} = \frac{1}{\frac{9}{10}} = \frac{10}{9} = 1.1 \text{ رضعفاً .}$$

وهذا يعنى أن المدة تزيد بـ ١٠٪ من زمن الرحلة أصلاً لو كان القارب يبحر في ماء ساكن .

وبطريقة مشابهة يمكن أيضاً حساب التأخير في رحلة القارب بعرض النهر ذهاباً وإياباً ، ويكون في هذه المرة ناشئاً عن سير القارب في اتجاه جانبي قليلاً حتى يعوض دفع التيار له في رحلته من رصيف (١) الى رصيف (٢) ، وفي هذه الحالة يكون التأخير أقل الى حد ما ويمكن حسابه من المعامل :

$$\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

أى أنه يساوى ٠.٥ (١/٢) من المثال السابق ، والبرهان على هذا القانون بسيط للغاية ، لذا نتركه لذكاء القارئ والآن استبدل بالنهر رياح الأثير وبالقارب موجات الضوء ، وبالرصيفين المرآتين الموضوعتين عند الأطراف فتتضح لك أخيراً خطة تجربة « مايكلسون » . لأن شعاع الضوء المنتقل من (ب) الى (ج) ثم الى (ب) مرة أخرى سيتأخر وفقاً للقانون :

(٢) بأخذ المقدار (ط) كمسافة بين رصيف (١) ورصيف (٢) ، وتذكر أن سرعة القارب

مع التيار = س + س' وضد التيار = س - س' فيكون زمن الرحلة الكلية =

$$\frac{2 \text{ س ط}}{(س - س') + (س + س')} = \frac{\text{ط}}{س - س'} + \frac{\text{ط}}{س + س'} =$$

$$\frac{1}{\left(\frac{س - س'}{س}\right) + \left(\frac{س + س'}{س}\right)} \times \frac{2 \text{ ط}}{س} =$$

$$(*) \frac{1}{\left(\frac{v}{c}\right)^2 - 1}$$

حيث v هي سرعة الضوء في الأثير . بينما يكون التأخير في رحلته من (ب) الى (د) ذهابا وإيابا بالشعاعين :



وحيث ان سرعة رياح الأثير تساوى سرعة الأرض وهي ٣٠ كم/ث ، وسرعة الضوء $= 3 \times 10^8$ كم/ث فإن الشعاعين يتأخران بنسبة ٠.١ ر ، ٠.٥ ر فى المائة على الترتيب ويصبح من السهل ملاحظة الفرق بين سرعة شعاع ضوئى يسير فى اتجاه رياح الأثير ، وآخر يسير عموديا عليها باستخدام جهاز مايكلسون .

ولك أن تتخيل دهشة « مايكلسون » بعد ذلك عندما قام بالتجربة ووجد نفسه عاجزا عن ملاحظة أدنى انحراف فى الهدب المتداخلة .

ويتضح أن رياح الأثير لم تؤثر على سرعة الضوء فى حركته معا ولا متعامدا عليها .

وقد ذهّل « مايكلسون » ولم يصدق نفسه فى البداية ، ولكن الشك تحول الى يقين بعد اعادة التجربة بدقة شديدة فذهل مرة أخرى عندما تأكد من صحة نتيجة التجربة الأولى ، ولم يكن هناك الا تفسير واحد معقول لهذا ، وهو افتراض جرى مؤداه أن تلك المائدة الحجرية التى ثبت عليها « مايكلسون » الجهاز قد انكمشت بقدر ضئيل (وتعرف هذه الظاهرة بانكماش فيتزر جيرالد (٣) Fitz Gerald Contraction نتيجة لحركة

$$(*) \text{ فى الأصل } 1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2$$

(٣) تخليدا لاسم أول عالم طبيعة استحدث هذا المفهوم واعتبره من الآثار الميكانيكية البحتة للحركة

الأرض في الفضاء . والواقع أن الانكماش في المسافة من (ب) الى (ج) يتم بمعامل :

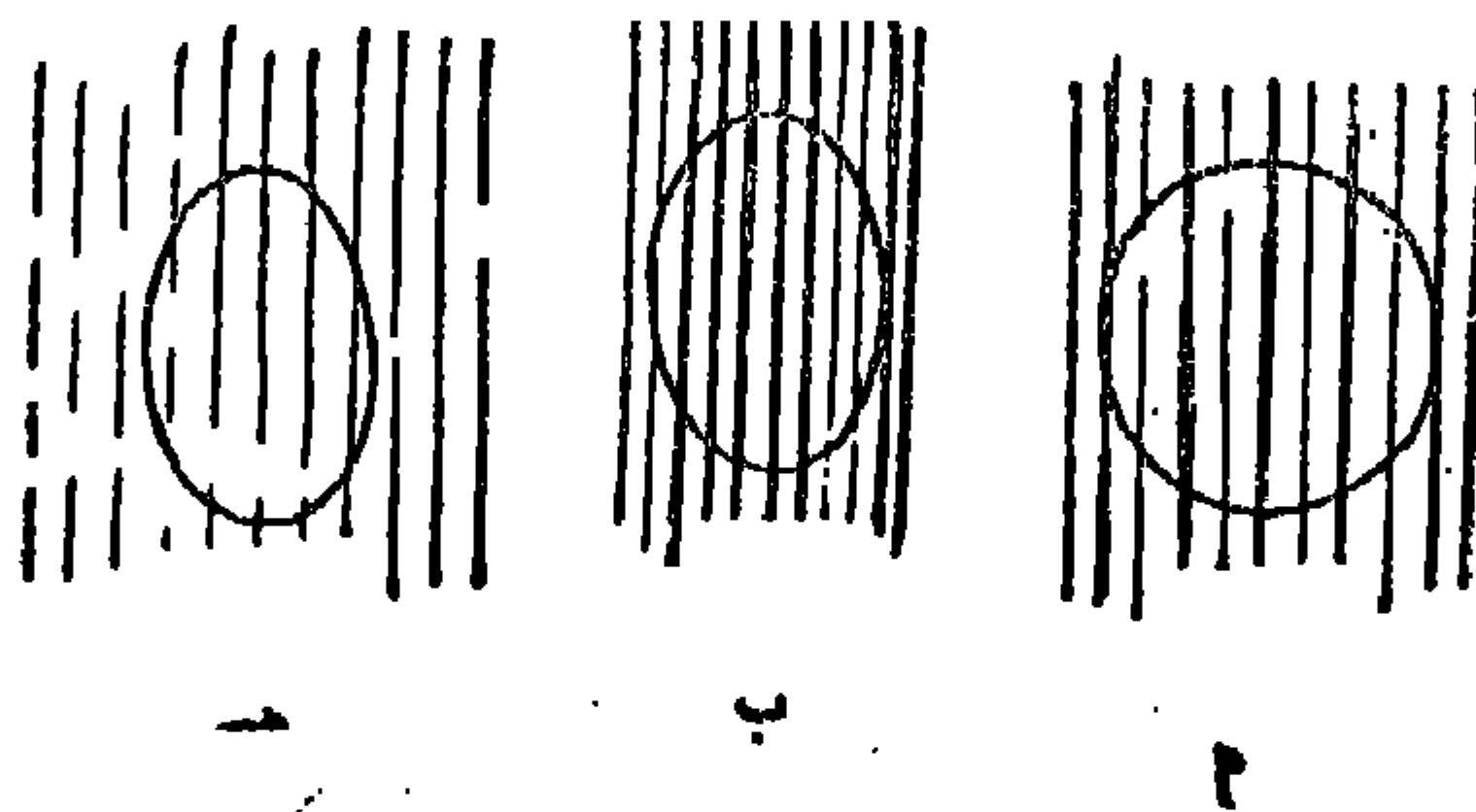
$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

بينما تبقى المسافة من (ب) الى (د) كما هي ولذا يتساوى الشعاعان في التأخير وبالتالي لا تتأثر المجموعة الهدبية .

ولكن اقتراح فكرة انكماش مائدة « مايكلسون » كان أمرا والاقتناع بإمكانيتها أمر آخر ، صحيح أننا نتوقع بعض الانكماش في الأجسام المادية عند حركتها في وسط مقاوم لهذه الحركة : والقارب المنطلق بسرعة في بحيرة مثلا ينضغط قليلا تحت تأثير القوة الدافعة للمحرك من جهة ، ومقاومة التيار لمقدمته من الجهة الأخرى . ولكن حجم هذا الانكماش الميكانيكى يتوقف على مقاومة المادة المصنوع منها القارب فانكماش القارب المعدنى يكون أقل من انكماش القارب الخشبي . ولكن الفروق في الانكماش التى أدت الى النتائج السلبية لتجربة « مايكلسون » تتوقف فقط على سرعة الحركة ولا تتأثر أبدا بمقاومة الجسم المتحرك . ولو كانت المائدة التى تعلوها المرايا مصنوعة من مادة أخرى غير الحجارة مثل الحديد الزهر ، أو الخشب أو غيرها من المواد لما اختلف حجم الانكماش فى أى من هذه الحالات عن الأخرى : وهكذا يتضح لنا أننا نتعامل هنا مع قوة ذات تأثير عام تسبب انكماش جميع الأجسام المتحركة بنفس الدرجة تماما ، أو كما قال « أينشتين » فى وصفه للظاهرة عام ١٩٠٤ ، نحن هنا نتعامل مع ظاهرة انكماش الفضاء ذاته ، حيث تنكمش جميع الأجسام المتحركة فيه بنفس السرعة بنفس الطريقة وذلك ببساطة لأنها موجودة فى هذا الفضاء المنكمش .

ولقد ذكرنا فى الفصلين الأخيرين عن خواص الفضاء ما يكفى لجعل العبارة السابقة تبدو معقولة . وحتى نزيد الأمر إيضاحا يمكن أن نتخيل أن للفضاء بعض خواص الجيلاتين المرن ، وتوجد بداخله الحدود الخارجية للأجسام المختلفة . وعندما يتحول شكل الفضاء عن طريق الانضغاط ، أو المط ، أو اللي فان أشكال جميع الأجسام الموجودة فيه تتغير تلقائيا بنفس الطريقة . وهذه التحورات فى الأجسام المادية التى تنشأ عن تحول الفضاء تختلف عن التحورات الفردية التى تنتج عن قوى خارجية مختلفة تحدث ضغوطا داخلية وتوترا فى الأجسام المتأثرة بها . وربما يفيد النظر الى شكل (٣٧) - وهو يعبر عن حالة ثنائية البعد - فى تفسير هذا الفارق الهام .

ومع ذلك فإن أثر انكماش الفضاء - رغم أهميته البالغة لفهم المبادئ الأولية في الطبيعة - يتم دون أن يلحظه أحد إطلاقاً في الحياة العادية طالما أن أعلى سرعة نشهدها في حياتنا اليومية تعتبر ضئيلة جداً بالنسبة لسرعة الضوء ، لذا فإن سيارة تتحرك بسرعة ٥٠ ميلاً (*) في الساعة مثلاً ينقص طولها بالمعامل $\sqrt{1 - (v/c)^2} = 1 - 10^{-16}$ وهذا يساوى نقص طول السيارة من واقى الصدام الأمامى الى واقى الصدام الخلفى بقدر قطر نواة الذرة ! والطائرة ذات المحرك النفاث التى تطير بسرعة تزيد على ٦٠٠ ميل (**) فى الساعة ينقص طولها بمقدار قطر ذرة ، كما ينكمش صاروخ الفضاء الذى يصل طوله الى ١٠٠ متر وينطلق بسرعة تزيد على ٢٥٠٠٠ ميل (***) فى الساعة بمقدار ٠.١ رملليمتر .



(شكل رقم ٣٧)

ومع ذلك فاذا استطاعت أجسام أن تتحرك بسرعات تساوى ٥٠ ، ٩٠ ، ٩٩ فى المائة من سرعة الضوء فإن طولها سينكمش بمقدار ١٤ ، ٤٥ ، ٨٦ فى المائة من حجمها على الأرض على الترتيب .

وقد خلد هذا الأثر الانكماشى النسبى للأجسام السريعة شاعر غير معروف فى القصيدة الفكاهية التالية :

يحكى أن شاباً اسمه « فيسك »
كان فى مبارزته أسرع من البرق
ولم تكن لسرعة سيفه حد

(*) أى حوالى ٨١ كم/ساعة (المترجم)

(**) أى حوالى ٩٦٦ كم/ساعة .

(***) أى حوالى ٤٠٢٣٤ كم/ساعة .

حتى انكمش « بفيتز جيرالد »

وبعد أن كان سيفاً

يا خسارة أصبح قرصاً

ويبدو أن مستر « فيسك » هذا كان يبارز فعلاً بسرعة الضوء !
ومن وجهة نظر الهندسة رباعية الأبعاد يمكن ببساطة تفسير القصر الملاحظ
فى جميع الأجسام المتحركة بصفة عامة ، باعتبار تغيره تغيراً فى الإسقاط
الفضائى لطولها الثابت الرباعى الأبعاد ، وذلك نتيجة لدوران محورى
الزمن والفضاء المتعامدين . وتذكر من الجزء السابق أننا قلنا ان المشاهدات
التي تتم من جهاز متحرك لابد لوصفها من استخدام نظام المحاور الذي يدور
فيه محورا الزمن والفضاء بزاوية ما تتوقف على السرعة . ولهذا اذا كان
للجهاز الساكن فاصل معين رباعى الأبعاد واسقاطه على محور الفضاء ١٠٠٪
(شكل ٣٨ أ) فان اسقاطه الفضائى على المحور الزمنى الجديد يكون أقصر
دائماً (شكل ٣٨ ب) ومن المهم أن نتذكر أن درجة القصر (الانكماش)
تعتمد تماماً على حركة النظامين بالنسبة لبعضهما اذ نعتبر أحياناً أن جسماً
ما ساكن بالقياس الى جسم ثان ، لهذا يكون الجسم الساكن بالنسبة للآخر
متمثلاً فى خط طوله ثابت ويوازي محور الفضاء الجديد وطبيعى أن يكون
اسقاطه أقصر طولاً على المحور القديم .

ومن الناحية الفيزيائية لا يوجد أى داع أو أهمية لتحديد أى
النظامين هو الذى يتحرك « فعلاً » . وأهم شئ هنا هو أنهما فى حالة
حركة بالنسبة لبعضهما . ولذا اذا قدر لراكبين من ركاب سفينتى فضاء
تابعة لـ « شركة المواصلات الفضائية المحدودة » فى المستقبل أن يتقابلا
فى السماء بين الأرض وزحل ، فسيرى كل منهما مع السرعة الهائلة من
نوافذ سفينته الجانبية أن السفينة الأخرى تنكمش بدرجة كبيرة ، وهذا دون
أن يلحظ أن سفينته أيضاً يحدث لها نفس الشئ . ولا داعى لاضاعة الوقت
فى جدل عقيم لمعرفة أى السفينتين ينكمش « فعلاً » ، لأن الرأى فى كل
سفينة يصدر من وجهة نظر ركاب الأخرى ولن تجد رأياً صادراً فى
السفينة من ركبها (٤) .

كما أن المنطق الرباعى الأبعاد يسمح لنا بأن نفهم لماذا يكون
الانكماش النسبى للأجسام المتحركة غير ملحوظ الا عند الاقتراب من
سرعة الضوء . والواقع أن زاوية الدوران لمحورى الفضاء والزمن المتعامدين

(٤) هذه صورة نظرية تماماً بالطبع ، فالحقيقة أنه اذا مرت سفينتا فضاء بجانب بعضهما
كما شرحنا هنا فلن يتمكن ركاب أى منهما من رؤية الأخرى أكثر من رؤيتك لرصاصة تنطلق
من مسدس فى جزء من الثانية .

يطلق عليها « ساعة الحائط » أو « ساعة اليد » فالواقع أن كافة العمليات الفيزيائية ، والكيميائية ، والبيولوجية تبطئ في سيرها بنفس الدرجة وقد تخشى أن يحترق البيض بعد طهيهِ في سفينة فضاء سريعة لأن ساعتك سوف تكون بطيئة أكثر من اللازم ، غير أن العملية التي تجري داخل البيضة سوف تتأخر بمعدل مماثل ، ولذا إذا مرت على البيض في ماء مغلي مدة خمس دقائق وفقا لساعتك فسوف تحصل في جميع الأحوال على ما يسمى « بيض الخمس دقائق » (*) . وما سفينة الفضاء هنا الا مثال أنسب من عربة العشاء في القطار . لأنه عند انكماش الطول لا يمكن ملاحظة ابطاء الزمن الا عند السرعات القريبة من سرعة الضوء . ويمكن

$$\text{معرفة الابطاء باستخدام نفس العامل} \quad \sqrt{1 - \frac{\text{مربع السرعة}}{\text{مربع سرعة الضوء}}}$$

باعتباره معامل تقلص الفضاء مع فارق أنك هنا تستخدمه لا كعامل ضرب ، ولكن قسمه ، فاذا ما تحرك الشخص (مثلا) بسرعة تنقص طوله بمقدار النصف فإن الزمن يزيد ضعفا .

وينظوى الانخفاض في سرعة الزمن في النظم المتحركة على معنى مثير بالنسبة للنظم النجمية ، فافرض أنك قد قررت زيارة أحد أقمار كوكب الشعرى اليمانية الذي يبعد تسع سنين ضوئية عن المجموعة الشمسية ، واستعملت في رحلتك سفينة فضاء تنطلق فعلا بسرعة الضوء ، فمن الطبيعي لك أن تعتقد أن رحلة الذهاب والاياب من الأرض الى الكوكب سوف تستغرق ثمانية عشر عاما على الأقل ، مما يجعلك تتزود بمؤونة كبيرة تكفيك لهذه المدة . على أن هذا الاحتياط لن يكون ضروريا على الاطلاق لو كانت السفينة التي تركيبها يمكن أن تطير بسرعة مقاربة لسرعة الضوء . فالواقع أنك اذا سافرت مثلا بسرعة تساوي ٩٩٩٩٩٩٩٩٪ من سرعة الضوء فإن ساعتك ، وقلبك ، وورثتك ، وهضمك ، والعمليات الذهنية سوف تبطئ بمعامل قدره ٧٠٠٠٠ مرة وستبدو لك الثمانية عشر عاما (من وجهة نظر أهل الأرض التي غادرتها) وهي زمن الرحلة مجرد ساعات قليلة . والحق أنك ما أن تبدأ رحلتك من الأرض بعد تناول طعام الافطار مباشرة حتى تشعر بالرغبة في تناول الغداء عند هبوط سفينتك على كوكب الشعرى . فاذا كنت في عجلة من أمرك وبدأت رحلة العودة بعد الغداء مباشرة فسوف تكون - في كل الاحتمالات - على الأرض وقت العشاء . ولكنك ستجد مفاجأة كبيرة في انتظارك هنا اذا كنت قد

(*) تختلف البيضة المسلوقة من حيث الخواص والطعم وفقا لفترة غليان الماء الموضوعة فيه ، ومن الشائع في المطاعم الراقية أن يسمى البيض المسلوق بهذه الأسماء (المترجم) .

نسيت قوانين النسبية ، اذ أنك ستجد أصدقاءك وأقاربك قد فقدوا الأمل في عودتك باعتبارك مفقودا في الفضاء بين النجوم ، وسيحزنك أيضا أنهم قد تناولوا العشاء ٦٥٧٠ مرة بدونك ! وذلك لأنك سافرت بسرعة قريبة من الضوء فبدت لك ١٨ سنة ضوئية وكأنها يوم واحد .

ولكن ماذا عن محاولة السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء ؟ تستطيع أن تجد جزءا من الإجابة على هذا السؤال في قصيدة فكاهية (نسبية) أخرى تقول :

يحكى أن فتاة اسمها « ضياء »

كانت تعدو أسرع من الضوء

وقد سافرت أمس

وعلى طريقة أينشتين

عادت أول أمس

ومن الموند أنه اذا كانت السرعات القريبة من سرعة الضوء تؤخر الوقت في نظام متحرك ، فان السرعة التي تزيد عليه سوف تعود بالزمن الى الوراء ! بالاضافة الى أن التغير في العلامات الجبرية تحت جذر فيثاغورث ، سوف يجعل من احداثي الزمن احداثيا حقيقيا ، وبذلك يدل على مسافة فضائية تماما كما يحدث للأطوال في النظام الأسرع من الضوء حين تقل عن الصفر فتصبح تخيلية ومن ثم تتحول الى فترات زمنية .

ولو كان ذلك ممكنا لكان (شكل ٣٣) الذي يصور « أينشتين » وهو يحول العصا المترية الى منبه ممكنا أيضا ، شريطة أن يؤدي هذا العرض السحري بسرعة أعلى من سرعة الضوء ! .

ولكن الطبيعة مهما بلغ جنونها لا تصل الى هذه الدرجة ، وهناك استحالة واضحة لوقوع هذا النوع من السحر الأسود وتتلخص في عبارة واحدة « لا يمكن لأي جسم مادي أن يتحرك بسرعة تساوي سرعة الضوء أو تزيد عنها » .

ان الأساس الفيزيقي لهذا القانون الطبيعي الأولي ، يكمن في حقيقة أثبتتها التجارب المباشرة أكثر من مرة . وهي أن ما يعرف بكتلة القصور الذاتي للأجسام المتحركة التي تقيس مقاومتها الميكانيكية للزيادة في سرعتها ، تتخطى أي حد عندما تصل سرعة الحركة الى سرعة الضوء . وبناء عليه اذا انطلقت رصاصة مسدس بسرعة ٩٩٩٩٩٩٩٩٩ في المائة من سرعة الضوء فان مقاومتها لازدياد سرعتها تعادل مقاومة قذيفة مدفع عيار ١٢ بوصة . وعند سرعة ٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ في المائة من سرعة

الضوء تتساوى مقاومة الرصاصة (قصورها الذاتي) تماما مع وزن سيارة نقل محملة ثقيلة . ومهما كانت قوة اطلاق هذه الرصاصة فلا يمكن أن تقهر الرقم العشري الأخير بحيث تكون سرعتها مساوية للحد الأقصى لسرعة الحركة في الكون ! .

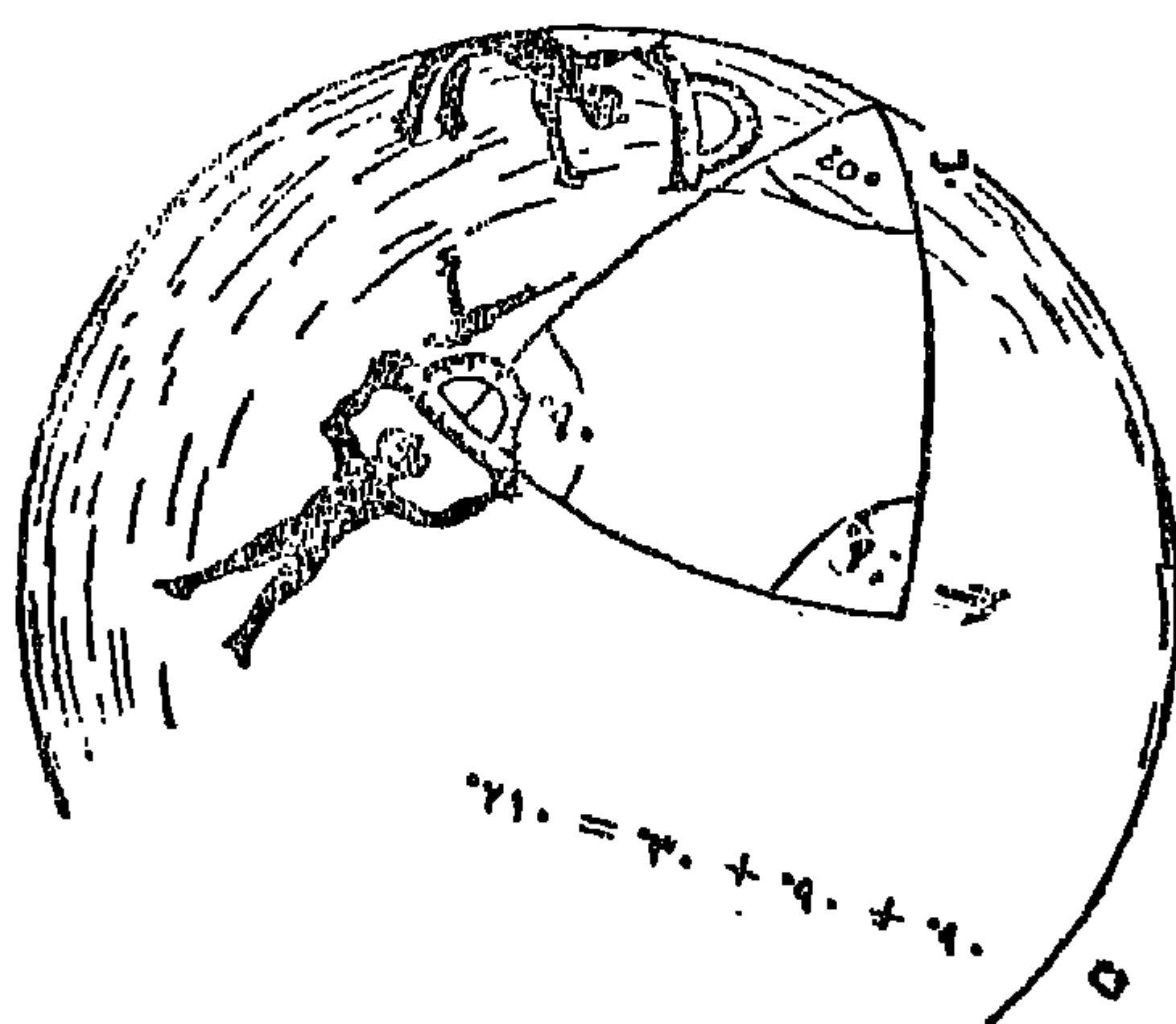
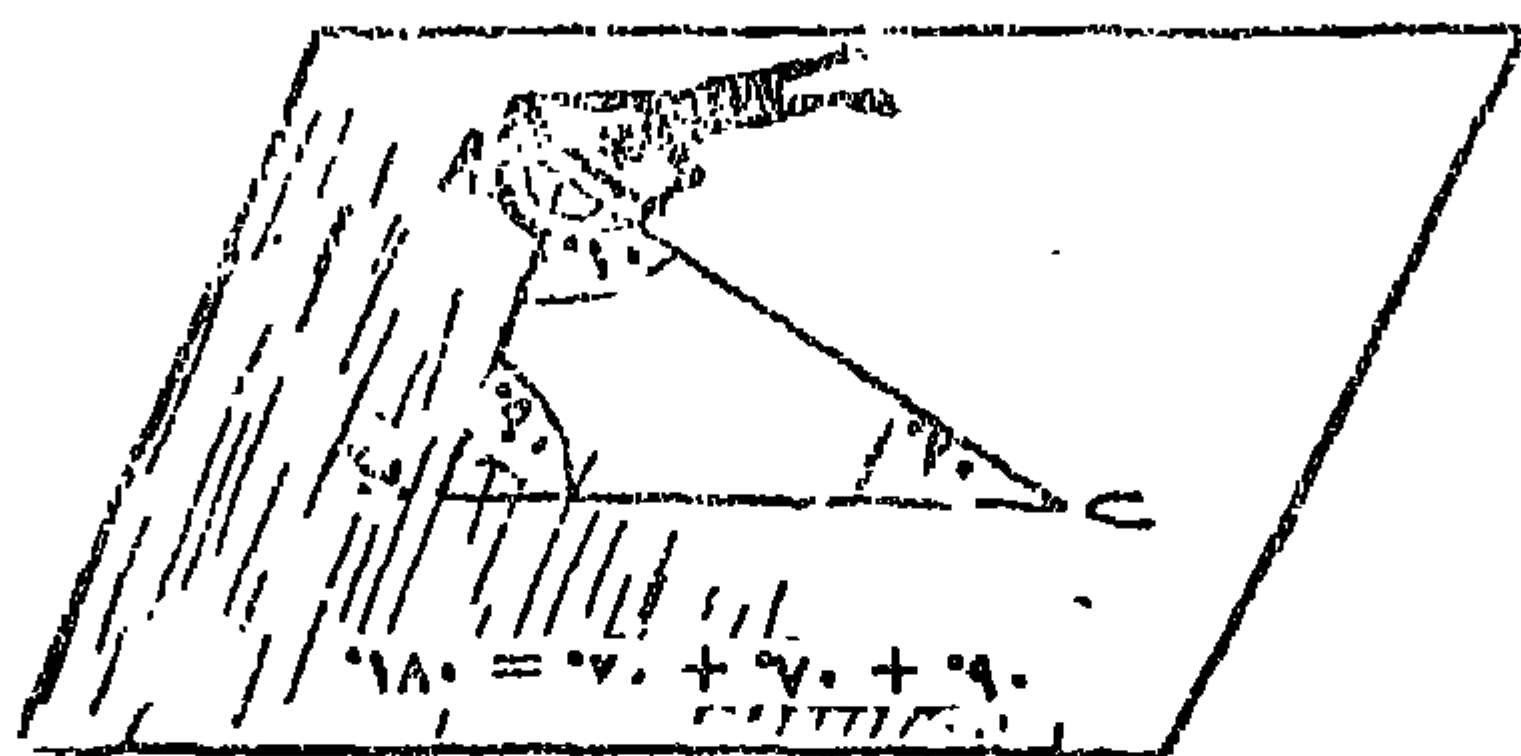
٣ - الفضاء المنحني ولغز الجاذبية :

مع الاعتذار الواجب والأسف الشديد للقارئ الذي أثقلنا عليه خلال قراءته للصفحات السابقة عند الحديث عن الاحداثيات الأربعة ندعوه الآن لأن يصحبنا في جولة في فضاء منحني . وكلنا يعلم ماهية الخط المنحني والسطح المنحني ولكن ماذا يعنى مصطلح « الفضاء المنحني » . ان المشكلة التي تواجهنا في محاولة تخيل مثل هذه الظاهرة لا تكمن في غرابة المفهوم بقدر ما تكمن في الحقيقة التي مفادها أننا بينما نستطيع أن ننظر الى الخطوط المنحنية والسطوح المنحنية من الخارج ، فان انحناء الفضاء الثلاثي الأبعاد لابد من مراقبته من الداخل ، حيث أننا نعيش فيه بأنفسنا .

وفي محاولة لفهم كيفية تقبل الانسان ثلاثي الأبعاد لفكرة انحناء فضاء يعيش فيه دعنا أولا نمعن النظر في الحالة الفرضية لظل ثنائي البعد يسكن سطحاً ما . في الشكلين (٣٩ أ ، ٣٩ ب) نرى اثنين من العلماء (في هيئة طيفيين) على مستوى منبسط منحني (كروي) من « العوالم المسطحة » يدرسان هندسة فضائهما ذي البعدين . ولا شك أن أبسط الأشكال الهندسية الممكن دراستها هو المثلث ، هذا الشكل المكون من ثلاثة خطوط مستقيمة تصل بين ثلاث نقاط هندسية . وكما نذكر جميعاً من هندسة المرحلة الاعدادية ، أن اجمالي زوايا أى مثلث تساوى دائماً 180° . ومن الواضح ، مع ذلك ، أن هذه النظرية لا تنطبق على المثلثات المرسومة على أسطح كروية . والواقع أن المثلث الكروي المكون من خطي طول جغرافيين خارجين من القطب ، وخط العرض الذي يقطعهما (جغرافياً أيضاً) يحتوى على زاويتين قائمتين في القاعدة كما أن زاوية الرأس تتراوح قيمتها بين صفر ، 360° باختلاف الضلعين . وفي هذا المثال المرسوم في شكل ٣٩ ب نجد أن مجموع الزوايا يساوى 210° ، وهكذا يمكننا أن نرى أن قياس الأشكال الهندسية في عالمها الثنائي البعد ، جعل العالمين يكتشفان انحناء السطح دون النظر اليه فعلاً من الخارج .

وبتطبيق الملاحظة السابقة على عالم له أكثر من بعد واحد يكون من الطبيعي لنا أن نتوصل الى ما يلي :

ان علماء البشر الساكنين في فضاء ثلاثي الأبعاد يستطيعون تأكيد انحناء الفضاء دون القفز خارجه الى البعد الرابع بمجرد قياس الزوايا بين الخطوط المستقيمة التي تربط بين ثلاث نقاط في فضاءهم . فاذا كان مجموع الزوايا الثلاث يساوى 180° كان الفضاء منبسطا ، والا كان فيما عدا ذلك منحنيا لا محالة .



(شكل رقم ٣٩)

عازان ثنائيا البعد من « العوالم المسطحة » المنبسطة والمنحنية يختبران انهندسة الاقليدية فيما يتعلق بمجموع زوايا المثلث .

ولكن قبل المضي في هذه المناقشة علينا أن نناقش بشيء من التفصيل المعنى الدقيق لمصطلح الخطوط المستقيمة . بالنظر الى المثلثين الموضحين في شكل (٣٩) ، قد يقول القارئ طالما أن أضلاع المثلث المرسوم على سطح منبسط (شكل ٣٩ أ) مستقيمة فعلا فلا بد أن أضلاع المثلث المرسوم

على الكرة (شكل ٣٩ ب) منحنية فعلا لكونها أقواسا من دائرة كبيرة (٦)
متكيفة مع السطح الكروي .

وهذه العبارة التي تعتمد على البديهة في الفكر الهندسي سوف
تحرم العالمين النظليين من أى إمكانية لوضع هندسة للفضاء الثنائى البعد
ويحتاج مفهوم الخط المستقيم الى تعريف هندسى عام لا يحفظ للهندسة
الاقليدية مكانتها فحسب ، ولكنه أيضا يشمل الخطوط المرسومة
على أسطح وفضاءات أكثر تعقيدا في طبيعتها . ويتوفر هذا التعميم في
تعريف « الخط المستقيم » بأنه الخط الذي يمثل أقصر مسافة بين نقطتين
وينطبق على السطح أو الفضاء الذي يرسم فيه . وفي الهندسة الثنائية
البعد لا شك أن التعريف السابق يتفق مع المفهوم العام للخط المستقيم
فقط ، بينما ينسحب باحكام على عائلة من الخطوط في حالات أخرى
للسطوح الأكثر تعقيدا ، وهذه العائلة من الخطوط تؤدي عندئذ نفس دور
« الخطوط المستقيمة » في الهندسة الاقليدية .

وحتى نتجنب اللبس نستطيع المرء أن يطلق على الخطوط التي تمثل
أقصر مسافة بين نقطتين على سطح منحني « الخط السمتي »
Geodesic . والاسم الانجليزي مشتق من علم الجيوديسيا Geodesy
الذي يبحث في دراسة المساحة التطبيقية لسطح الأرض ، والواقع أننا
عندما نتكلم عن مسافة الخط المستقيم بين نيويورك وسان فرانسيسكو
فإننا نعني « المسافة على خط مستقيم » مع انحناء سطح الأرض ، وليس
كما يفترض في حفر المناجم العملاق الذي يشق طريقه مباشرة مخترقا
جسد الأرض .

ان التعريف السابق « للخط المستقيم بصفة عامة » أو « السمتي »
بصفته أقصر مسافة بين نقطتين يوحى بالطريقة الطبيعية البسيطة لرسم
هذا الخط ، عن طريق شد حبل بين النقطتين المراد قياس المسافة بينهما ،
فاذا كان ذلك على سطح منبسط فإنك ترسم خطا مستقيما عاديا ، وان
كان ذلك على كرة ستجد أن الحبل ينثنى بامتداد قوس لدائرة كبرى هي
مقابل الخط الجيوديسي أو السمتي للسطح الكروي .

يمكن بطريقة مماثلة أن نحدد ما اذا كان الفضاء الثلاثى الأبعاد الذي
نعيش فيه منحنيا أم منبسطا ، وكل ما يلزمنا أن نشد (الحبال) بين
ثلاث نقاط في الفضاء ، ثم نرى ما اذا كان مجموع زوايا المثلث يساوى

(٦) الدوائر الكبرى هي تلك التي يقطعها على السطح خط مستوي يمر بمركز الكرة
وخط الاستواء ودائرة خط الطول بمن هدم الدوائر الكبرى .

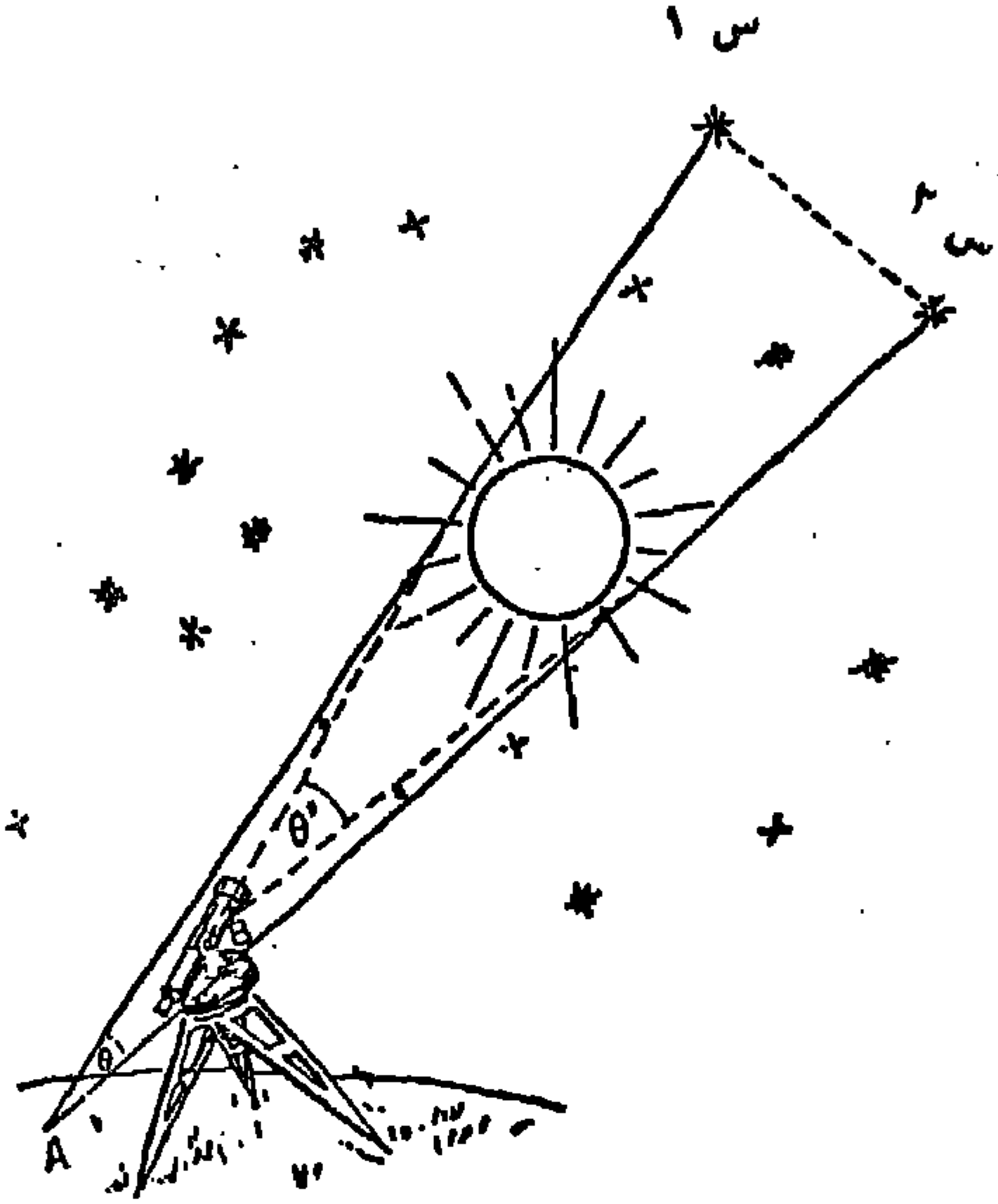
١٨٠ " أم لا . وللقيام بهذه التجربة ينبغي على أية حال أن نذكر شيئين هامين . فمن الضروري أن تجرى التجربة على مساحة واسعة نوعا ما حيث ان المساحة الصغيرة جدا من السطح المنحني قد تظهر لنا مستوية تماما ، وغنى عن الذكر أنه لا يمكن التأكد من انحناء سطح الأرض بأخذ المقاسات فى حديقة المنزل مثلا ، ثم ان سطح الفضاء قد يكون منبسطا فى بعض الأماكن ومنحنيا فى أماكن أخرى ، لذا لابد من اجراء مسح كامل .

وتكمن عظمة الفكرة ، التى طرحها « أينشتين » عندما وضع نظريته العامة فى الفضاء المنحني فى فرضية مؤداها أن الفضاء الطبيعى ينحني كلما اقترب من الكتل الكبيرة ، وكلما كبر حجم الكتلة كلما زاد الانحناء . واذا أردنا التحقق من صحة هذا الفرض عمليا نستطيع شد حبل بين ثلاثة أوتاد مثبتة فى الأرض حول أى تل كبير الحجم (شكل ٤٠ أ) ثم نقيس الزوايا الناشئة عن تلاقى هذه الأحبال . فاختر أكبر مرتفع تجده - حتى لو كان من جبال الهيمالايا - وسوف تجد مع التقاضى عن بعض أخطاء القياس (وهذا شئ وارد) أن مجموع زوايا المثلث لن يزيد على ١٨٠° إطلاقا !! . ورغم ذلك فان هذه النتيجة لا تعنى بالضرورة أن « أينشتين » كان مخطئا وأن وجود الكتل الضخمة لا يؤدى الى انحناء السطح من حولها . وربما كان جبل الهيمالايا نفسه لا يؤدى الى انحناء الفضاء المحيط به بما يكفى لتسجيل الانحراف حتى باستخدام أدق آلات القياس . ونذكر الاخفاق الذى لقيه « جاليليو » فى محاولته لقياس سرعة الضوء باستخدام فانوسه الآلى الاغلاق (شكل ٣١) . لذا دعك من الشعور بالاحباط ، وتعال نجرب ثانية مع كتلة أكبر حجما كالشمس مثلا .



(شكل رقم ٤٠) (١)

ومما يقضى بالعجب أن التجربة تنجح هذه المرة ! فسوف تجد إذا
مددت حبالاً من نقطة ما على الأرض إلى نجم معين ثم إلى نجم آخر بحيث
تكون الشمس داخلية في المثلث المغلق المكون من الحبال الثلاثة - أن
مجموع الزوايا الثلاثة سوف يختلف بدرجة ملحوظة عن 180° . وإذا لم
يكن لديك جبل طويل بما يكفي لأجراء هذه التجربة فيمكنك استبداله
بشعاع ضوئي وهو أفضل من الحبل من جميع الوجوه ، إذ أن علم البصريات
يعلمنا أن الضوء يسلك دائماً أقصر الطرق الممكنة .



(شكل رقم ٤٠ ب)

ويصور (شكل ٤٠ ب) رسماً تخطيطياً لأحدى تجارب قياس
الزوايا المحصورة بين أشعة الضوء ، حيث يلتقي الشعاعان الضوئيان
الآتيان من النجمين س_١ ، س_٢ الواقعان على جانبي قرص الشمس (وقت
التجربة) - عند جهاز التيودوليت (المزواة) مما يمكننا من قياس الزاوية
المحصورة بين الشعاعين . ثم تعاد التجربة بعد ابتعاد الشمس عن طريق
النجمين ونقارن بين الزاوية في الحالة الأولى والزاوية في الحالة الثانية ،
فإن اختلفنا كان ذلك دليلاً على أن الشمس تؤثر على انحناء الفضاء من
حولها ، بحيث ينحرف شعاعا الضوء عن مسارهما الأصلي .

وقد كان « أينشتاين » هو الذي اقترح هذه التجربة لاختبار صحة
نظريته . وقد يستطيع القارئ أن يفهم الحالة بصورة أفضل نوعاً بالنظر
إلى ما يماثلها على سطح ثنائي البعد (شكل ٤١) .

ومن الواضح أن هناك عقبة عملية قد اعترضت سبيل تجربة أينشتاين

فى الظروف العادية : فأنت لا تستطيع رؤية النجوم حول الشمس بسبب شدة لمعانها ، ولكن فى فترة الكسوف الكلى للشمس تصبح واضحة للعيان وقت النهار . وبلاستعانة بهذه الحقيقة تم اجراء التجربة عمليا عام ١٩١٩ على يد بعثة فلكية بريطانية فى جزر « برينسيب » (غرب افريقيا) ، حيث أمكن ملاحظة كسوف الشمس منها فى ذلك العام . وكان فرق البعد الزاوى بين النجمين والشمس بينهما ، والنجمين والشمس خارجهما 1.1 ± 30 راً بالمقارنة مع ما قدره « أينشتين » وهو $1.75 \pm$. وكانت النتائج التى توصلت اليها البعثات الاستكشافية فى تواريخ لاحقة مماثلة للتجربة .

ولا تعتبر قيمة ثانية ونصف من القيم الكبيرة فى الزوايا الزمنية ، ولكنها كافية لاثبات أن كتلة الشمس تجبر الفضاء فعلا على الانحناء من حولها .

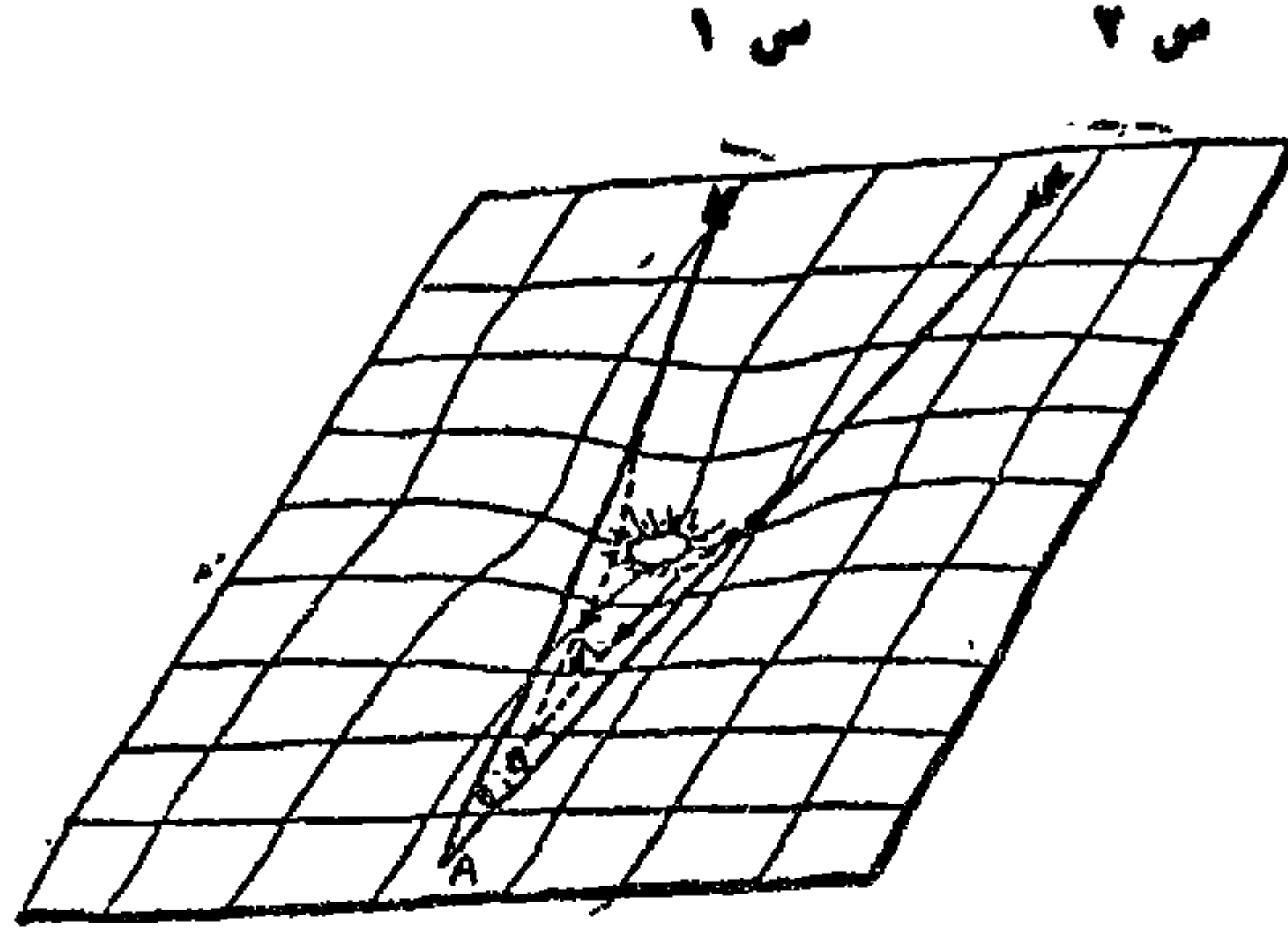
ولو أمكن الاستعانة بنجم آخر أكبر من الشمس لوجدنا أن هذه النظرية الاقليدية لمجموع زوايا المثلث لا تتحقق ، فيختلف مجموع الزوايا عدة دقائق ، بل ودرجات عنها .

ويحتاج التآلف مع مفهوم الفضاء الثلاثى المنحنى الى بعض الوقت مع قدر كبير من التخيل عند دراسة هذا الفضاء من داخله . ولكن ما أن تضع يدك على حقيقته حتى يصبح واضحا لك ومحددا ، شأنه فى ذلك شأن المفاهيم المألوفة فى الهندسة الكلاسيكية من حيث وضوحها وتحديداتها .

والآن تبقى خطوة واحدة هامة حتى يكتمل لك فهم نظرية « أينشتين » فى الفضاء المنحنى وعلاقته بالنقاط الأساسية فى الجاذبية الكونية ومرة أخرى يجب أن نتذكر أن الفضاء الثلاثى الذى تحدثنا عنه ليس الا جزءا من عالم الفضاء والزمن الرباعى الذى يعمل كخلفية لكافة الظواهر الطبيعية . ويترتب على هذا أن يكون انحناء جزء الفضاء لا يزيد على انعكاس للانحناء الفضائى الزمنى الرباعى الأعم وأن «خطوط العالم» لهذا الكلى انما تعبر عن حركة أشعة الضوء ، والأجسام المادية فيه ، ولا بد من اعتبارها خطوطا منحنية فى فضاء أعظم .

وانطلاقا من هذه النظرية وصل أينشتين الى نتيجة هامة وهى : أن ظاهرة الجاذبية مجرد أثر من آثار انحناء العالم الفضائى الزمنى ذى الأربعة أبعاد . وهكذا نستطيع أن نستبعد عبارة قديمة غير وافية كانت تقول أن الشمس تؤثر ، بقوة معينة على الكواكب مباشرة فتجعلها ترسم مدارات دائرية حولها ، والأدق الآن أن نقول ان كتلة الشمس تحدث انحناء فى عالم الفضاء والزمن الرباعى - من حولها وان خطوط العالم

للكواكب تبدو على الصورة التي تراها في شكل (٣٠) لا لشيء إلا لأنها خطوط « سمتية » تمر في الفضاء المنحني .



(شكل رقم ٤١)

وبذا يختفى تماما مفهوم الجاذبية كقوة مستقلة من منطقتنا ، وتحل محله مفاهيم هندسة الفضاء البحتة التي تقضى بأن حركة الأجسام المادية تتبع « أشد المسارات استقامة » ، أو « الخطوط السمتية » التي تنطبق على الانحناءات الناتجة عن وجود الكتل الضخمة .

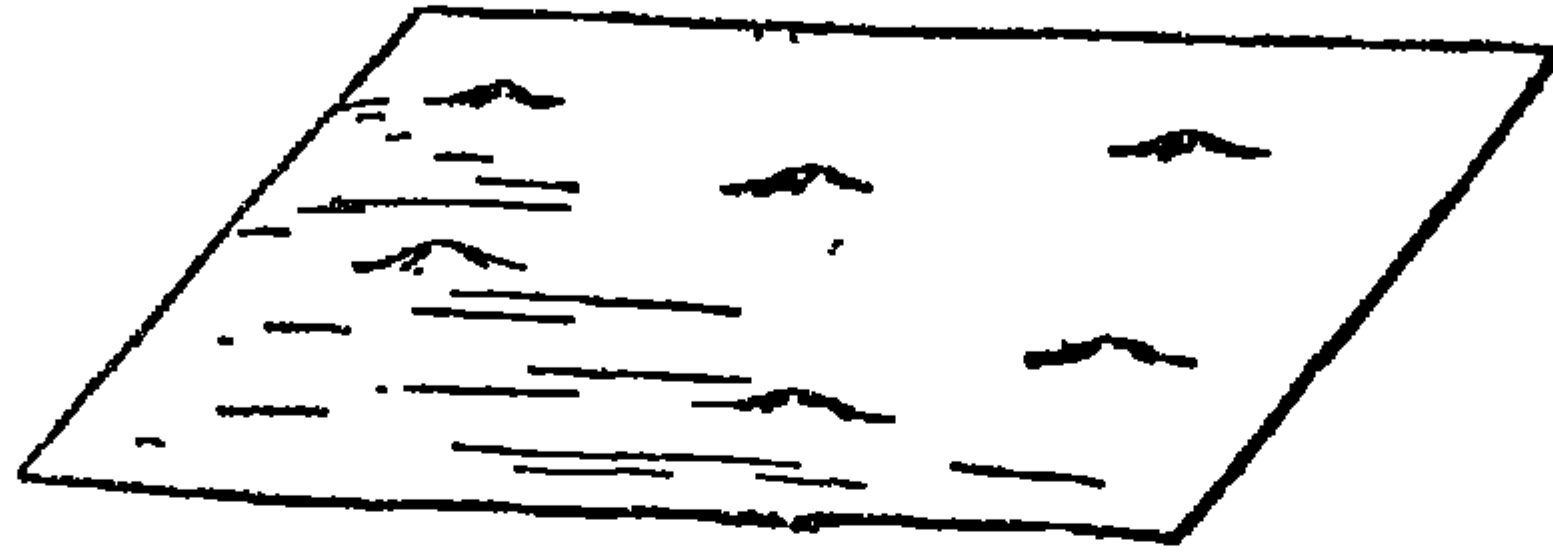
٤ - الفضاء المغلق والفضاء المفتوح :

لا يجوز أن ننتهى من هذا الفصل قبل أن نعرض بإيجاز قضية أخرى من القضايا الهامة في هندسة الفضاء والزمن عند « أينشتين » ، وهي الكون . هل هو نهائي أم لا نهائي ؟ .

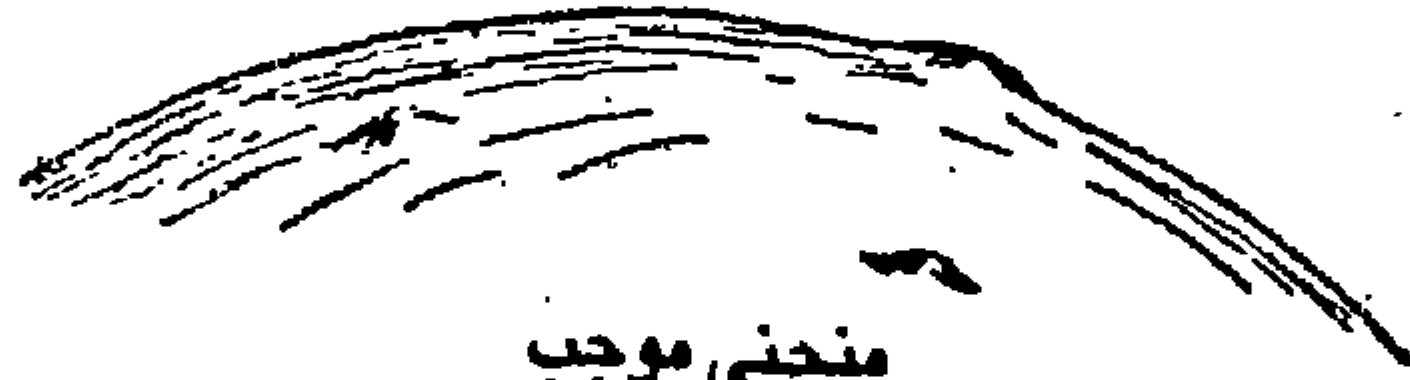
وقد ناقشنا حتى الآن الانحناء الموضعي للفضاء بجوار الكتل الكبيرة ، هذه المجموعة المتنوعة من « البثرات الفضائية » المنتشرة على وجه الكون العملاق . ولكن بغض النظر عن هذه البروزات الموضعية هل الكون منبسط أم منحني ، وإذا كان منحنيًا فما نوع هذا الانحناء ؟ .

ونرى في شكل (٤٢) رسماً توضيحياً ثنائى البعد لفضاء منبسط وبه « بشرات » ، كما نرى أيضاً نوعين من الانحناءات الممكنة . . وأول هذين النوعين هو « الانحناء الموجب » وهو يقابل سطح الكرة ، أو سطح أى شكل هندسي مغلق ويكون « موحداً » في جميع الاتجاهات . أما « الانحناء السالب » ، وهو عكس النوع السابق ، فيتخذ اتجاهين اتجاهًا لأعلى وآخر لأسفل ويشبه إلى حد كبير سرج الحصان في الغرب الأمريكي . والفارق بين هذين النوعين يظهر بوضوح عندما تقص قطعتين

من الجلد احدهما من كرة قدم والاخرى من سرج حصان ، ثم تحاول فردهما على مائدة وستلاحظ استحالة ذلك دون مط أو انكماش فبينما يحتاج جلد الكرة الى المط يحتاج السرج الى الانكماش حيث تكون المساحة المحيطة بالمركز في جلد الكرة غير كافية لفردة ، بينما تزيد مساحة الجلد حول مركز السرج أكثر مما يلزم لفردة ولهذا تراه يتجعد مهما حاولت تسويته .



سطح مستو



منحنى موجب



منحنى سالب

(شكل رقم ٤٢)

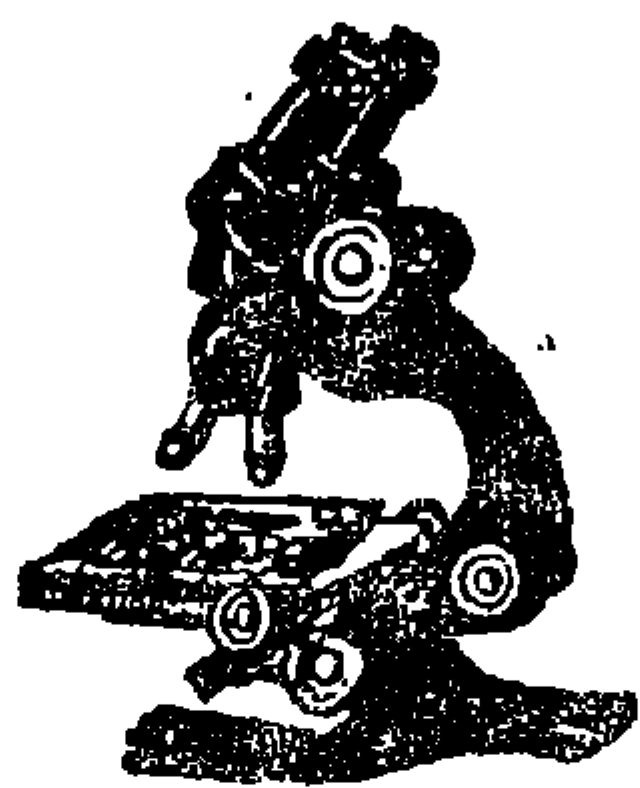
ويمكن ايضاح هذا الأمر بطريقة أخرى ، فافرض أنك ستقوم بعدد البثرات الموجودة في بوصة ، اثنتين ، ثلاث بوصات ٠٠ الخ (معدودة على امتداد السطح) من نقطة معينة . وعلى السطح المستوي تجد أن عدد البثرات يزداد بمعدل مربع المسافات أي ١ ، ٤ ، ٩ ٠٠ الخ ، أما على السطح الكروي فسيزداد عدد البثرات بمعدل أقل من ذلك ، في حين يزداد على سطح السرج بمعدل أكبر . وهكذا فإن العالمين الظليين ثنائيي الأبعاد والذين يسكنان على هذا السطح ، وبالتالي يكونان غير قادرين على النظر اليه من الخارج لملاحظة شكله ، سوف يصبح بمقدورهما رغم ذلك أن يكتشفا الانحناء بواسطة عد البثرات الموجودة في الدوائر المختلفة في نصف قطرها وربما لاحظنا هنا أيضا أن الانحناء

الموجب والسالب يعرب عن نفسه في قياسات الزوايا في المثلثات المتكافئة .
وكما رأينا من قبل في الجزء السابق فان مجموع الزوايا في المثلثات
المرسومة على سطح كرة يزيد دائما على 180° . فاذا حاولت رسم مثلث
على سطح السرج ستجد أن مجموع زواياه يقل دائما عن 180° .

ويمكن تعميم النتائج السابقة - والتي حصلنا عليها بالنسبة للأسطح
المنحنية بصفة خاصة - على الفضاءات ثلاثية الأبعاد المنحنية وفقا للجدول
التالى :

نوع الفضاء	سلوكه على المدى البعيد	مجموع زوايا المثلث	معدل الزيادة
فضاء موجب الانحناء شبيه بالكرة	مغلق على نفسه	$< 180^\circ$	أقل من مكعب ضلعه مساو لنصف القطر
فضاء مستو	ممتد الى ما لا نهاية	$= 180^\circ$	مساو لمكعب ضلعه مساو لنصف القطر
فضاء سالب الانحناء شبيه بالسرج	ممتد الى ما لا نهاية	$> 180^\circ$	أزيد من مكعب ضلعه مساو لنصف القطر

ويمكن استخدام الجدول في البحث عن اجابة عملية عما اذا كان
الفضاء الذى نعيش فيه نهائى أم لا نهائى - وسوف نتعرض لمناقشة
هذه المسألة في الفصل العاشر الذى يتناول موضوع حجم الكون .



الجزء الثالث

الكون الأصغر

الفصل السادس

النزول من على السلم

١ - الفكرة الاغريقية :

من الأفضل في تحليل خواص الأجسام المادية أن تبدأ ذلك على بعض الأجسام المعتادة لنا « ذات الحجم العادي » ، ثم ، نتدرج خطوة خطوة الى البناء الداخلى لها حيث تكمن المصادر الأساسية لكافة الخواص المادية بعيدا عن عيون الانسان .

لذا هيا نبدأ المناقشة ببناء من حساء المحار موضوع على مائدة عشائك . . ولقد اخترنا حساء المحار ليس لأنه مغذ وحلو الطعم ، ولكن لأنه يعتبر مثالا لطيفا على ما يسمى بالمادة غير المتجانسة وتستطيع حتى دون الاستعانة بميكروسكوب أن ترى أن الحساء هو عبارة عن خليط من عدد كبير من المكونات : شرائح المحار الصغيرة ، وقطع البصل ، والطماطم ، والكرفس ، وحبيبات البطاطس الدقيقة بالإضافة الى حبيبات القليل الأسبود ، والقليل من السمن . . . كل هذه المكونات مختلطة مع بعضها في محلول مائي مملح .

وأغلب المواد التي نتعامل معها في حياتنا اليومية - وبخاصة المواد العضوية - تكون غير متجانسة رغم أن ادراك هذه الحقيقة يتطلب استعمال الميكروسكوب في أغلب الحالات . ولكن درجة محدودة من التكبير تكون كفيلا بأن توضح لك على سبيل المثال أن اللبن عبارة عن مستحلب رقيق القوام مكون من قطرات دقيقة من الزبد معلقة في سائل أبيض متجانس .

كما أن تربة الحديقة العادية هي خليط دقيق من جزيئات ميكروسكوبية من الكالسيوم ، والكاولين ، والكوارتز ، وأكسيد الحديد وغير ذلك من الأملاح والمعادن ، بالإضافة إلى العناصر العضوية المختلفة الناتجة من تحلل النباتات والحيوانات . وإذا صقلت سطح صخرة جرانيت عادية يتضح لك في الحال أن هذه الصخرة تتكون من بلورات صغيرة الحجم لثلاثة أنواع من العناصر (كوارتز ، فليسيار ، ميكا) وتلتصق هذه البلورات مع بعضها بقوة لتكون جسما صلبا واحدا .

في دراستنا للبنية الداخلية للمادة ، يعتبر تكوين المواد غير المتجانسة مجرد خطوة أولى ، أو بالأحرى أولى درجات السلم وفي كلتا الحالتين نستطيع بعد ذلك أن ننتقل إلى دراسة العناصر المتجانسة التي يتكون منها الخليط . وفي العناصر المتجانسة فعلا ، سلك النحاس ، أو كوب الماء ، أو الهواء الذي يملأ الحجرة (بفرض خلوه من الغبار المعلق بالطبع) - لا يمكن للفحص الميكروسكوبي أن يظهر أي أثر لمكونات مختلفة وسوف تبدو المادة متصلة في جميع أجزائها . صحيح أننا في حالة سلك النحاس ، أو مع جميع الأجسام الصلبة (باستثناء المواد المكونة من عناصر زجاجية غير متبلرة) نكتشف إذا نظرنا بمجهر قوى أن التكبير القوي يكشف دائما عما يسمى بالهيكل المجهرى التبلرى (Microcrystalline Structure)

ولكن البلورات المنفصلة التي نراها في المواد المتجانسة تعتبر جميعها ذات طبيعة واحدة - مثل بلورات النحاس في سلك نحاسي وبلورات الألومنيوم في حلل الطهي . . الخ تماما كما نجد بلورات كلوريد الصوديوم في حفنة من ملح الطعام . وباستخدام تكتيك خاص (التبلر البطيء) نستطيع زيادة حجم بلورات الملح ، والنحاس ، والألومنيوم ، أو أي مادة متجانسة أخرى إلى أي مدى نريده . كما أن قطعة من مثل هذه العناصر « أحادية التبلر » Monocrystalline سوف تكون شبيهة في تجانسها تماما بالماء أو الزجاج .

اذن هل نحن على حق استنادا إلى هذه الملاحظات سواء عن طريق العين المجردة أو أقوى أنواع الميكروسكوبات في افتراض أن العناصر التي نطلق عليها متجانسة سوف لا يحدث لها أي تغير مهما كانت درجة التكبير المستخدمة ؟ وبمعنى آخر ، هل نستطيع أن نصدق أنه مهما كانت كمية النحاس أو الملح أو الماء ضئيلة فإن خواصها سوف تكون دائما هي نفس خواص العينات الأكبر وأنه يمكن دائما تقسيمها إلى أجزاء أصغر ؟ .

لقد كان أول من صاغ هذا السؤال وحاول البحث عن جواب له الفيلسوف الإغريقي « ديموقريطس » الذي عاش في أثينا منذ ثلاثة

وعشرين قرنا وقد كانت اجابته بالنفى ، اذ كان أكثر ميلا الى الاعتقاد بأنه مهما كان تجانس أى مادة فى ظاهرها فلا بد من النظر اليها باعتبارها تتكون من عدد كبير (ما مدى كبر هذا العدد ؟ هذا ما لم يستطع معرفته) من جزيئات منفصلة بالغة الدقة (ما مدى دقتها ؟ هذا ما لم يعرفه أيضا) وقد سمي هذه الأجزاء « الذرات » أو « غير المرئيات » وهذه الذرات أو غير المرئيات تختلف كميتها . فى المواد المختلفة ، ولكن اختلافها فى النوع هو مجرد اختلاف ظاهرى . فالحق أن ذرات النار هى نفسها ذرات الماء ، وهى لا تختلف الا فى المظهر فحسب ، والواقع أن جميع المواد مركبة من نفس النوع من الذرات السرمدية ! .

وقد اختلف مع « ديموقريطس » فى هذا الرأى أحد معاصريه وهو « امبيدوقليس » (Empedocles) ، حيث قال ان هناك أنواعا شتى من الذرات المختلطة ينسب متباينة مما يؤدى الى تكوين العديد من العناصر المختلفة المعروفة واستنادا الى المبادئ الأولية للكيمياء المعروفة فى ذلك الوقت تعرف « امبيدوقليس » على أربعة أنواع من الذرات وهى تقابل العناصر المزعومة الأربعة : مادة الحجر ، والماء ، والهواء ، والنار . وفقا لهذه الآراء تكون التربة مثلا مكونة من عنصر الحجر وعنصر الماء المختلطين جيدا ذرة بذرة : وكلما ازداد العنصران اختلاطا كلما تحسنت التربة . فالنبات الذى يخرج من التربة يحتوى على ذرات الحجر والماء وذرات النار الآتية من أشعة الشمس ، فتؤدى فى النهاية الى تكوين جزيء مركب من الخشب . واحتراق الخشب الجاف الذى انتزع منه عنصر الماء كان يعتبر انحلالا أو تفسخا فى جزيئات الخشب الى مكوناته الأساسية وهى ذرات النار التى تنطاق مع اللهب ، وذرات الحجر التى تتخلف فى صورة رماد . والمعروف الآن أن هذا التفسير لنمو النبات واحتراق الخشب والذى كان يبدو منطقيا تماما فى هذا العهد المبكر من طفولة العلم انما هو تفسير خاطئ . فنحن نعلم أن النبات يحصل على أكبر جزء من المواد الداخلة فى نموه لا من التربة كما ظن الأقدمون - أو كما تظن أنت نفسك اذا لم يكن أحد قد أخبرك بالحقيقة - ولكن من الهواء .

والتربة ذاتها لا تسهم الا بجزء ضئيل جدا فى بعض الأملاح اللازمة لنمو النبات ، الى جانب ما تقوم به من دور فى تدعيم النبات والعمل كمخزن يحتوى على الماء اللازم له ، ويستطيع المرء أن يزرع نبتة قمح كبيرة جدا من كمية التربة التى يحتوى عليها كشتبان صغير (*) والحقيقة أن الهواء الجوى ، الذى هو مزيج من النيتروجين ، والاكسجين (وليس عنصرا بسيطا كما ظن القدماء) يحتوى أيضا على كمية معينة من ثانى أكسيد

(*) انبوب معدنى قصير (المترجم) .

الكربون الذى تتكون جزيئاته من ذرات الأكسجين والكربون وتمتص الأوراق الخضراء للنبات ثانى أكسيد الكربون ، تحت تأثير أشعة الشمس ، فيتفاعل مع الماء الذى يصل اليها عبر جذور النبات مكونا المواد العضوية ، التى يتكون منها جسم النبات . ثم يعود الأكسجين جزئيا الى الغلاف الجوى . ومن نتائج هذه العملية أن « النباتات الموضوعة فى حجرة تجدد الهواء » .

وعندما يحترق الخشب ، تتحد جزيئاته مرة أخرى مع أكسجين الهواء الآتى من الجو ليتحول مرة أخرى الى ثانى أكسيد كربون وبخار الماء الذى ينطلق مع اللهب الساخن .

أما « ذرات النار » التى اعتقد القدماء بوجودها فى البنية المادية للمواد فهى غير موجودة ، ولا توفر أشعة الشمس الا الطاقة اللازمة لتحلل جزيئات ثانى أكسيد الكربون وبذا تجعل من هذا الغذاء الجوى مادة قابلة للهضم بواسطة النبات النامى ، ولما كانت ذرات النار لا وجود لها فمن الواضح أن « تحرر » هذه الذرات غير الموجودة أصلا ليس هو السبب فى اشتعال النار ، فاللهب هو ببساطة كتلة من تيار الغازات المسخنة التى تؤدى الطاقة المتحررة أثناء هذه العملية الى اظهارها للعيان .

والآن لنأخذ مثالا آخر لنوضح الفارق بين آراء القدماء والمعاصرين فى التحولات الكيميائية ، أنت تعلم بالطبع أن المعادن المختلفة يمكن الحصول عليها من الخام المقابل باختضاعه الى درجات حرارة عالية جدا فى الأفران العالية . ولا يختلف المعدن الخام لأول وهلة عن الصخور العادية لذا فلا يجب أن نندهش من اعتقاد العلماء القدامى بأن خام المعادن مكون من نفس عنصر الحجر مثله مثل أى صخر . ومع ذلك فعند وضع قطعة من خام الحديد فى نار حامية ، وجد أن الناتج يختلف تماما عن أى صخرة عادية - وهو ذلك العنصر اللامع الذى تصنع منه السكاكين الحامية ورؤوس الرماح ، وكان أسهل الطرق لتفسير هذه الظاهرة هو القول بأن المعدن متكون من اتحاد مادة الحجر مع النار - أو بعبارة أخرى ان ذرات المعدن هى خليط من ذرات الحجر وذرات النار .

وبعد أن قاموا بتفسير مكونات المعادن بصفة عامة ، قاموا بتأويل وجود نوعيات المعادن المختلفة مثل الحديد ، والنحاس عن طريق القول بوجود نسب مختلفة من الحجر والنار فى تركيبها . ألم يكن من الواضح أن لمعان الذهب يرجع الى احتوائه على قدر من النار أكثر من الحديد المائل للسواد ؟

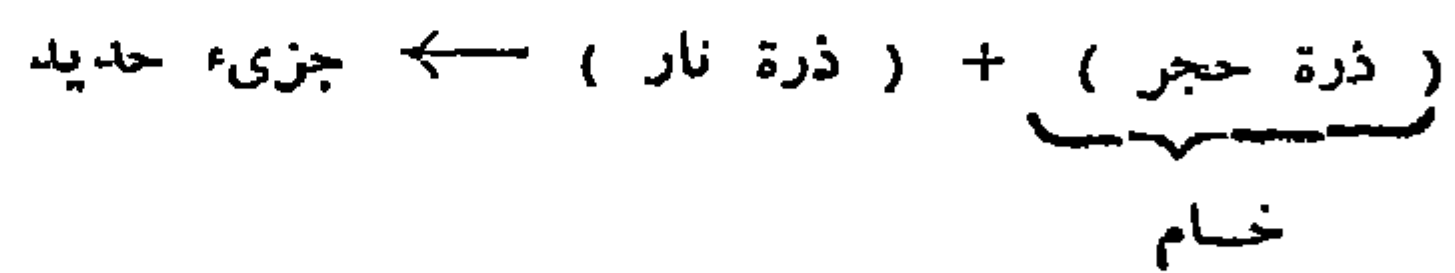
ولكن اذا كان الأمر كذلك فلم لا نضيف قدرا أكبر من النار الى الحديد أو الى النحاس ، وبالتالي يتحولان الى الذهب النفيس ؟ ومن هذا

المنطلق أمضى علماء الكيمياء في القرون الوسطى فترات كبيرة من عمرهم بجانب المواقد محاولين الحصول على الذهب الثمين من معادن أرخص .

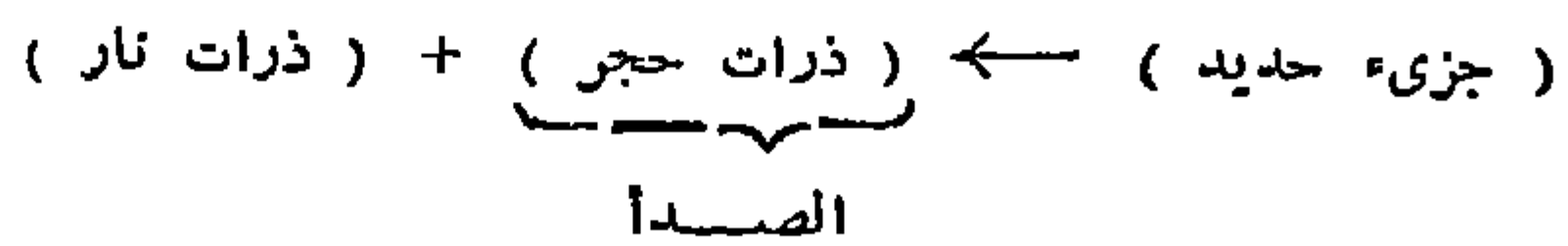
وقد كانت هذه المحاولات من وجهة نظرهم لا تقل في معقوليتها عن محاولات الكيميائيين المعاصرين لاستحداث طريقة لانتاج المطاط الصناعي . وكان خطأ هذه النظرية والتطبيق العملي لها كامنا في اعتقادهم أن الذهب وغيره من المعادن هي مركبات وليست عناصر بسيطة . ولكن كيف يستطيع المرء أن يعرف ما اذا كان العنصر أوليا أم مركبا دون التجريب ؟ ولولا المحاولات الفاشلة لهؤلاء الكيميائيين الأوائل لتحويل الحديد أو النحاس الى ذهب أو فضة لما تسنى لنا اطلاقا معرفة أن المعادن هي عناصر كيميائية بسيطة ، وأن الخام المحتوى على معادن ما هو الا تركيبة ناتجة عن اتحاد ذرات المعدن بذرات الاكسجين (أكاسيد المعادن كما يطلق عليها الكيميائيون حاليا) وليس تحول خام الحديد الى معدن تحت تأثير الحرارة اللافة في الفرن العالى نتيجة لاتحاد الذرات (ذرات الحجر والنار) كما ظن الكيميائيون القدامى ، ولكنه على النقيض تماما نتيجة لفصل هذه الذرات ، أو انتزاع ذرات الاكسجين من ذرات أكسيد المعدن المركبة . كما أن الصدأ الذى يظهر على سطح الأجسام المعدنية عند تعرضها للرطوبة ليس مكونا من ذرات الحجر المتخلفة عند تحرر ذرات النار أثناء تحليل عنصر الحديد ولكنه نتيجة تكون جزيئات مركبة من ثانى أكسيد الحديد الناتج عن اتحاد ذرات الحديد بذرات الاكسجين الموجودة فى الهواء أو الماء (١) .

ويتضح لنا من المناقشة السابقة أن مفاهيم العلماء القدامى عن التركيب الداخلى للمادة ، وطبيعة التحول الكيميائى فيها كان صحيحا

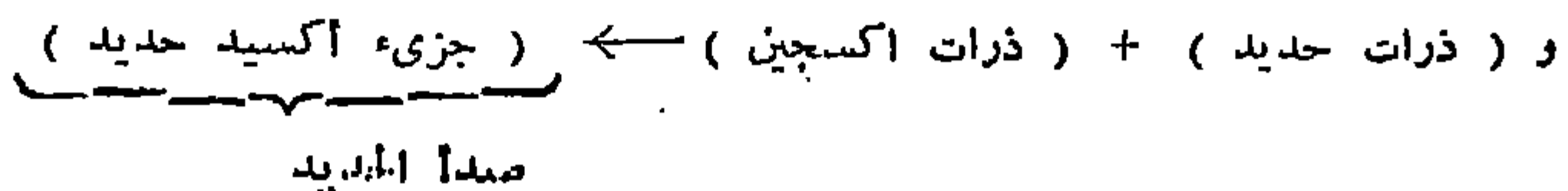
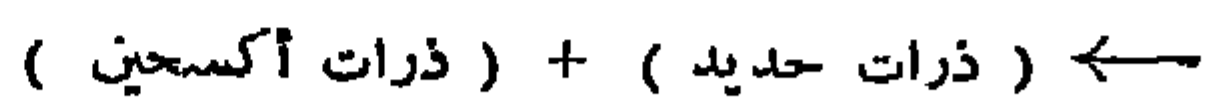
(١) لذا فعلى حين كان الكيميائى القديم يعبر عن تصنيع الحديد من خامه كالنالى :



وظهور صدأ الحديد كما يلى :



أصبحنا نكتب هذه العمليات كما يلى : (جزء أكسيد حديد) ←
خام الحديد



فى أساسه ، ولكن خطأهم كان كامنا فى عدم فهمهم لأنواع العناصر الأولية . والحق أن أيا من العناصر الأربعة التى ذكرها « امبيدوقليس » بوصفها عناصر أولية ليس أوليا فى الواقع فالهواء هو خليط من غازات عديدة مختلفة ، وجزئيات الماء تتكون من ذرات الأكسجين والهيدروجين ، أما الصخور فهى ذات تركيب غاية فى التعقيد اذ تحتوى على عدد كبير جدا من العناصر المختلفة ، وأخيرا بالنسبة لذرات النار فهى عنصر لا وجود له اطلاقا (٢) .

والواقع أن عدد العناصر الكيميائية المختلفة فى الطبيعة ليس أربعة بل ٩٢ نوعا مختلفا من الذرات ، وبعض هذه العناصر مثل الأكسجين والكربون ، والحديد ، والسليكون (المكونات الرئيسية لمعظم الصخور) متوفر الى حد ما على الأرض ومألوف للجميع . والبعض الآخر شديد الندرة . وربما كنت لم تسمع اطلاقا عن بعض العناصر مثل : البراسوديميوم ، أو الديسبروسيوم ، أو اللانثيوم . وبالإضافة الى العناصر الطبيعية التى نجح علماءنا المعاصرون فى تخليقها هناك عدد من العناصر الجديدة تماما ، وسوف نناقشها بعد قليل فى هذا الكتاب ومن بينها عنصر البلوتنيوم الذى يتوقع أن يؤدى دورا هاما فى اطلاق الطاقة الذرية لكل من الأغراض السلمية والحربية ، وباتحاد الـ ٩٢ نوعا من ذرات العناصر الأولية بنسب مختلفة ينتج عدد غير محدود من المواد المركبة المختلفة مثل الماء والزبد والزيت والتربة والحجارة والعظام والشابى وال « تى.ان.تى » وغيرها كثير من المركبات مثل « التراى فينيل بريليوم كلوريد » و « الميثيل ايزو بروفيل سايكلو هكسان » التى لابد للكيميائى الماهر أن يحفظها عن ظهر قلب ، ولكن معظم الناس لا يحاول حتى أن ينطقها فى نفس واحد ، وهناك المجلدات التى يكتبها الكيميائيون لتلخيص خواص هذا العدد غير المحدود من اتحادات الذرات وطرق تحضيرها وهلم جره . . .

٢ - ما هو حجم الذرات ؟ :

وعندما يتحدث كيميائى معاصر عن الذرات ، فهو لا يعنى شيئا أكثر فى مناقشتها أساسا على أفكار فلسفية مبهمة ، وهى استحالة تصور عملية يمكن فيها تقسيم المادة الى أجزاء أصغر وأصغر دون الوصول الى وحدات غير قابلة للتقسيم أبدا .

وعندما يتحدث كيميائى معاصر عن الذرات ، فهو لا يعنى شيئا أكثر تحديدا من ذلك بكثير ، فالمعرفة الدقيقة بالذرات الأولية واتحادها فى الجزيئات المعقدة شئ ضرورى تماما لفهم قانون كيميائى أساسى تتحدد

(٢) كما سنرى فيما بعد فى هذا الفصل ان فكرة ذرات النار اطلت من جديد براسها الى حد ما فى نظرية الكم الضوئى .

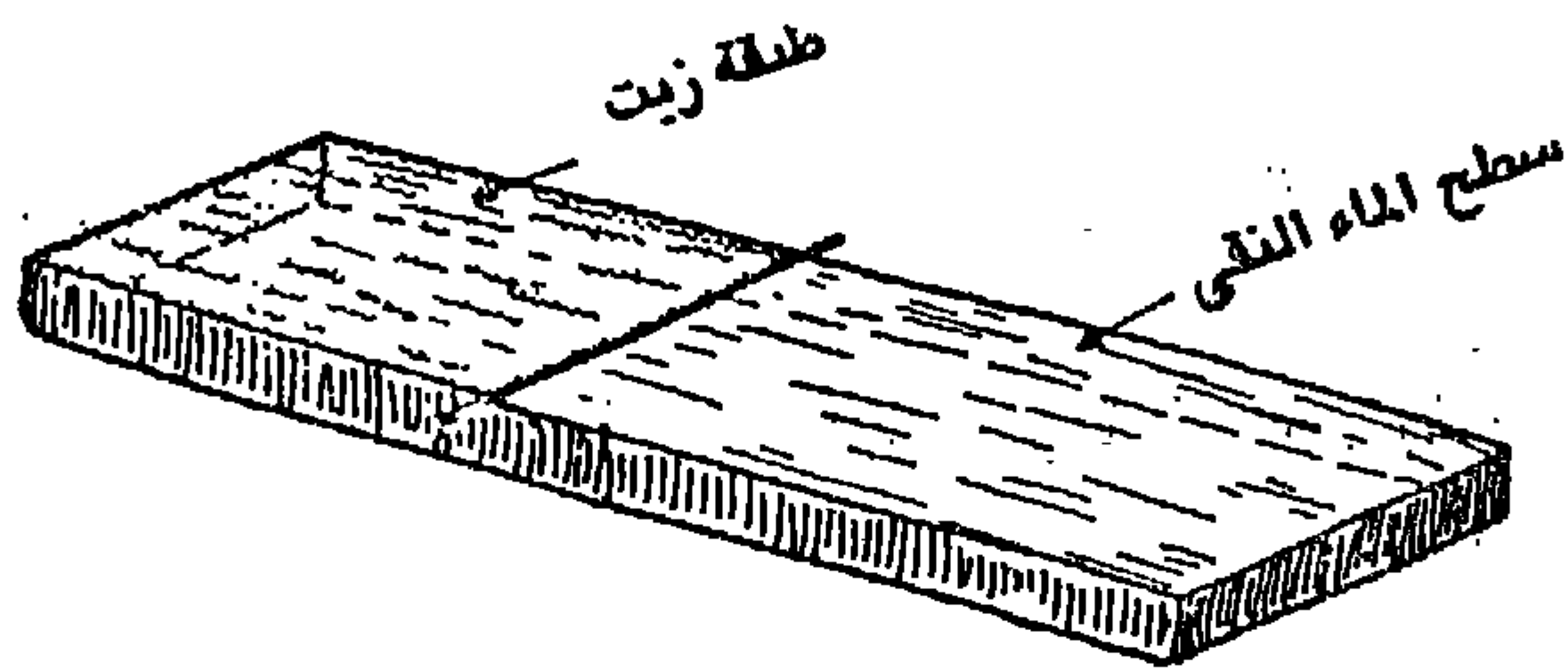
العناصر الكيميائية بموجبه بنسب ثابتة وزنيا ، وتعكس هذه النسب بوضوح الأوزان النسبية لذرات هذه العناصر ، ولذا استنتج الكيميائيون مثلا أن ذرات الأكسجين والألومنيوم والحديد لا بد أن تكون أثقل بستين مرة ، وسبع وعشرين مرة ، وست وخمسين مرة على الترتيب من ذرات الهيدروجين . ولكن بينما تعتبر الأوزان الذرية النسبية للعناصر المختلفة من الأوليات الهامة في الكيمياء ، فإن الوزن الفعلي لهذه الذرات معبرا عنه بالجرام لا يمثل أهمية اطلاقا للعمل الكيميائي ، ومعرفة هذه الأوزان بدقة لن يؤثر بأي شكل على الحقائق الكيميائية الأخرى ، أو تطبيق القوانين والطرق الكيميائية .

ومع ذلك فعندما يتناول الفيزيائي الذرات بالبحث سيجد أن أول سؤال يواجهه : « ما هو الحجم الفعلي للذرات بالسنتيمتر ، وما وزنها بالجرام ، وما عدد الذرات أو الجزيئات الموجودة في أى مادة ؟ وهل هناك وسيلة لمراقبة أو عد أو تناول الذرات والجزيئات على حدة ، واحدة بعد الأخرى ؟

وثمة طرق مختلفة متعددة لتقدير حجم الذرات والجزيئات ، وهى من البساطة حتى أن « ديموقريطس » و « امبيدوقليس » كان فى وسعهما استخدامها لو تطرق فكرهما اليها . فاذا كانت أصغر وحدة فى تركيب أى جسم مادي ولنفتراض أنها قطعة من سلك النحاس ، هى الذرة ، فمن الواضح أنه يستحيل أن نحصل على لوح أقل فى سمكة من هذه الذرة . ولذا يمكننا أن نمط هذا السلك النحاسى حتى يصل فى النهاية الى سلسلة من الذرات المفردة ، أو نستطيع أن نطرقه حتى يتحول الى ورقة رقيقة من النحاس بقطر ذرة واحدة . وبالنسبة لسلك النحاس أو أى جسم صلب آخر تعتبر هذه المسألة أصعب من المستحيل ، ذلك لأن المعادن ستنكسر قبل أن تصل الى الحد الأدنى المطلوب من السمك . ولكن المواد السائلة مثل طبقة رقيقة من الزيت تطفو على سطح الماء يمكن بسهولة فردها حتى تصبح غشاء رقيقا منسوجا من جزيئات هذه المادة ، بحيث تتلاحم الجزيئات ببعضها البعض أفقيا ، ولكن لا تتراكم على بعضها البعض ، رأسيا . ومع العناية والصبر يستطيع القارئ أن يفعل ذلك بنفسه وبذا يقيس بأسلوب بسيط حجم جزيء الزيت .

خذ اناء مستطيلا ضحلا (شكل ٤٣) وضعه على مائدة أو أرضية بحيث يكون مستويا تماما ، واملاه بالماء حتى حافته وضع قطعة من السلك بعرضه تلامس سطح الماء ، فاذا ما استطعت بعد ذلك اسقاط قطيرات صغيرة من زيت نقى على أحد جانبي السلك فسوف ينتشر الزيت على هذا الجزء من سطح الماء الذى يقع على جانب السلك الذى اسقطت عليه

الزيت . فإذا ما حركت الآن هذا السلك بطول الوعاء بعيدا عن الزيت فستنتشر هذه الطبقة في أثر السلك ويقل سمكها شيئا فشيئا حتى يصبح سمكها أخيرا مساويا لقطر جزيء واحد من الزيت . وسوف تؤدي أي حركة زائدة بعد ذلك للسلك إلى انقطاع في اتصال هذا السطح الزيتي وظهور فتحات فيه . وبمعرفة كمية الزيت الذي تضعه على الماء ، والحد الأقصى للمساحة التي يمكن انتشار الزيت عليها دون انقطاع تستطيع ببساطة أن تحسب قطر الجزيء المفرد للذرة .



(شكل رقم ٤٣)

طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء تنفصل عند شدتها أكثر من اللازم .
وأثناء قيامك بهذه التجربة يمكنك أن تلاحظ ظاهرة أخرى مشوقة .
فبعدلقاء بعض الزيت على سطح الماء الخالي سوف تلاحظ أولا ظهور قوس قزح المألوف فيه وربما كنت قد شاهدته عدة مرات من قبل في الموانئ على سطح الماء الذي ترسو عليه كثير من السفن . ويرجع ظهور هذه الألوان إلى ظاهرة معروفة وهي ظاهرة تداخل الأشعة الضوئية المنعكسة عن سطحي طبقة الزيت (الأعلى والأسفل) ويرجع اختلاف اللون في بعض الأماكن عن غيره إلى الفرق في سمك طبقة الزيت من نقطة إلى أخرى . وإذا انتظرت قليلا حتى يصبح سمك هذه الطبقة متماثلا ، ستجد أن طبقة الزيت تكتسب لونا موحدا في جميع الأماكن ومع النقص في سمك طبقة الزيت يتغير اللون تدريجيا من الأحمر إلى الأصفر ، ومن الأصفر إلى الأخضر ، ومن الأخضر إلى الأزرق ، ثم من الأزرق إلى البنفسجي نتيجة لتناقص الطول الموجي للضوء . فإذا مضينا في توسيع مساحة سطح الزيت نجد الألوان تختفي تماما وهذا لا يعني أن طبقة الزيت قد اختفت ، ولكنه ببساطة يعني أن سمكها أصبح أقل من أقصر طول موجي مرئي ، ومن ثم فإن اللون يخرج عن مدى قدرتنا في الرؤية . ومع ذلك سوف تظل قادرا على تمييز السطح الزيتي من السطح الخالي من الزيت ، ذلك أن شعاع الضوء المنعكس من السطح العلوي والسطح السفلي للطبقة الرقيقة جدا سوف يتداخلان مما يؤدي إلى اختزال شدة الاضاءة الكلية .

ولذا عندما تختلئ الألوان ، يختلف السطح الزيتي عن السطح النقي في أنه يظهر أكثر « قتامة » نوعا ما في الضوء المنعكس .

وعند اجراء هذه التجربة عمليا ، ستجد أن ملليمتر مكعبا من الزيت يمكن أن يغطي مساحة قدرها متر مربع من سطح الماء تقريبا ، ولكن أى محاولة لزيادة هذه الرقعة لمساحة أكبر من ذلك ستؤدى الى ظهور فجوات من الماء النقي وسط هذه المساحة (٣) .

٣ - الأشعة الجزئية :

من الأساليب الأخرى المثيرة لايضاح البناء الجزيئي للمادة ، هذا الأسلوب المعروف في دراسة تدفق الغازات والأبخرة عبر فتحات صغيرة الى الفضاء الخالي المحيطة بها .

افرض أن لدينا وعاء زجاجيا كبيرا مفرغا جيدا (شكل ٤٤) ويوجد بداخله فرن كهربائي صغير يتركب من اسطوانة من الصلصال بها ثقب صغير في جدارها ، ويحيط بهذه الاسطوانة سلك مقاومة كهربائي لتوفير الحرارة . فاذا وضعنا في هذا الفرن قطعة من معدن سريع الانصهار مثل الصوديوم أو البوتاسيوم ، امتلأ التجويف الداخلي للأسطوانة ببخار المعدن الذي سوف يتسرب الى الفضاء المحيط من خلال الثقب الصغير الموجود في جدار الاسطوانة وعندما يصل البخار الى زجاج الوعاء البارد يلتصق به وتدل الطبقة الرقيقة التي تشبه المرآة ، والتي تترسب على أجزاء مختلفة من الجدار الزجاجي على شكل حركة المادة بعد انطلاقها من الفرن .

وعلاوة على ذلك سنجد أن توزيع هذه الطبقة على الزجاج سيختلف تبعا لاختلاف درجات الحرارة في الفرن . فعندما تزداد سخونة الفرن بحيث تكون كثافة بخار المعدن بداخله مرتفعة الى حد ما ، سوف تبدو

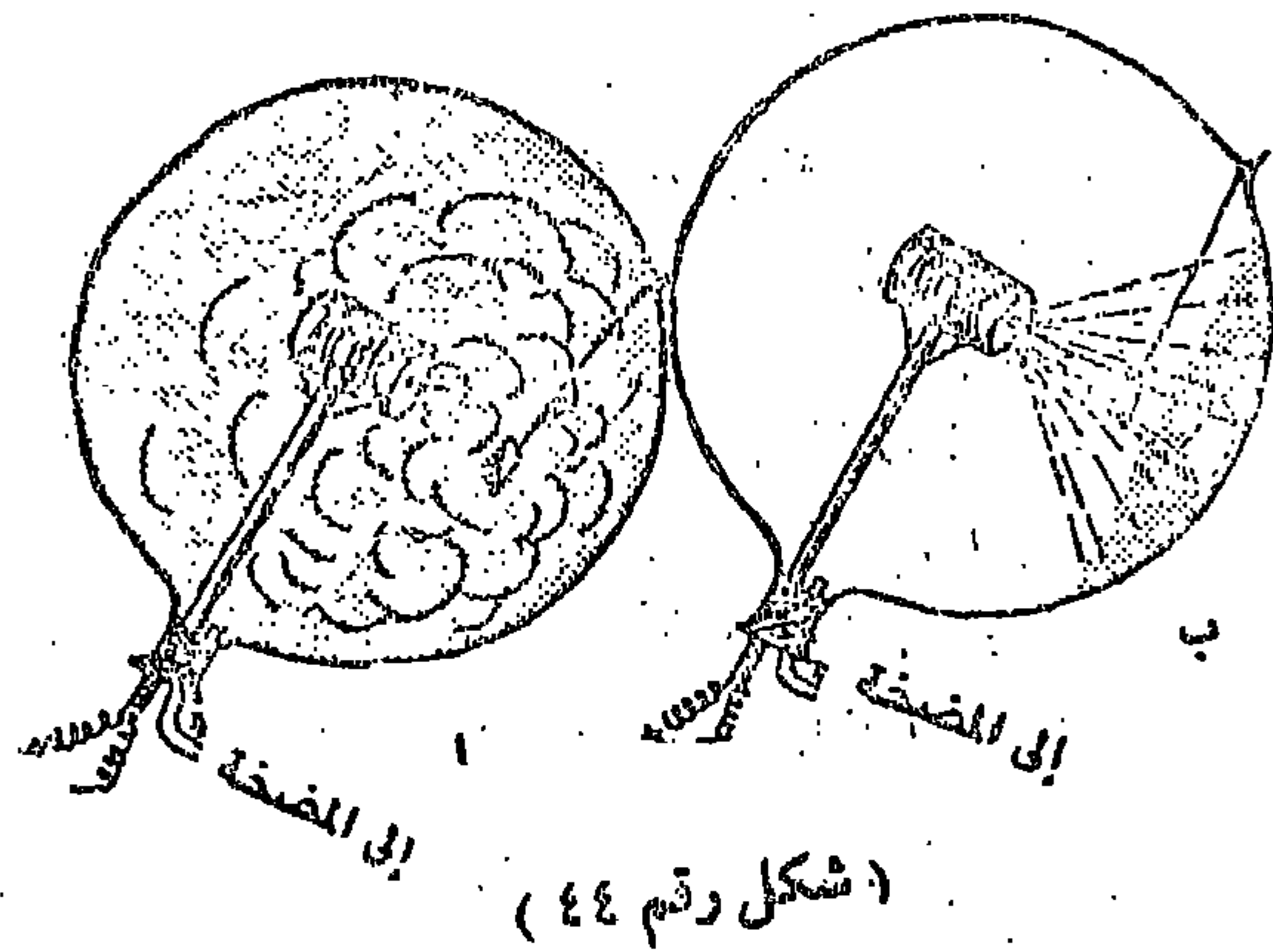
(٣) اذن ما مدى رقة طبقة الزيت قبل ظهور الفجوات فيها مباشرة ؟ وحتى يتسنى لك اجراء الحسابات المطلوبة افترض أن القطيرة المحتوية على ملليمتر مكعب من الزيت هي مكعب فعلا كل ضلع فيه يساوى ملليمتر مربع . وحتى يكفى هذا الملليمتر المكعب من الزيت لتغطية مساحه متر مربع فان كل ملليمتر مربع من سطح مكعب الزيت المتصل بالماء لابد من زيادته بمعامل قدره ألف (من ملليمتر مربع الى متر مربع) ومن ثم فان الأبعاد الرأسية للمكعب الأصلي لابد أن تنقص بمعامل قدره $1000 \times 1000 =$ مليون وذلك حتى يظل الحجم الكلى ثابتا . فنحصل على القيمة التالية بالنسبة لسلك طبقة الزيت ومن ثم حجم جزيئه :

$$1 \text{ سم} \times 10^{-6} = 10^{-10} \text{ سم}$$

ولما كان جزيء الزيت مكدنا من عدة ذرات فان حجم الذرة يكون اصغر من ذلك نسبيا .

بداية بلانهاية - ١٢٩

هذه الظاهرة مألوفة لأى شخص سبق أن شاهد البخار المنبعث من غلاية الشاي أو المحرك البخارى . وبعد المرور من الفتحة ينتشر البخار فى جميع الاتجاهات (شكل ٤٤ أ) بحيث يملأ الفراغ الكلى للانتفاخ ، ويرسب طبقة متجانسة تقريبا على جدار الزجاج ، ومع ذلك فعند درجات الحرارة الصغرى ، عندما تقل كثافة البخار داخل الفرن يختلف سلوك هذه الظاهرة تماما . فبدلا من الانتشار فى كافة الاتجاهات يتحرك البخار الخارج فى خط مستقيم ويترسب أغلبه على الجدار المقابل لفتحة الفرن . ويمكن اظهار هذه الحقيقة بشكل أوضح عن طريق وضع جسم صغير أمام الفتحة (شكل ٤٤ ب) حيث لن تجد مادة مترسبة على الجدار الزجاجى خلف هذا الجسم ، وسوف تكون هذه المساحة الخالية مكافئة هندسيا تماما لظل هذا الجسم .

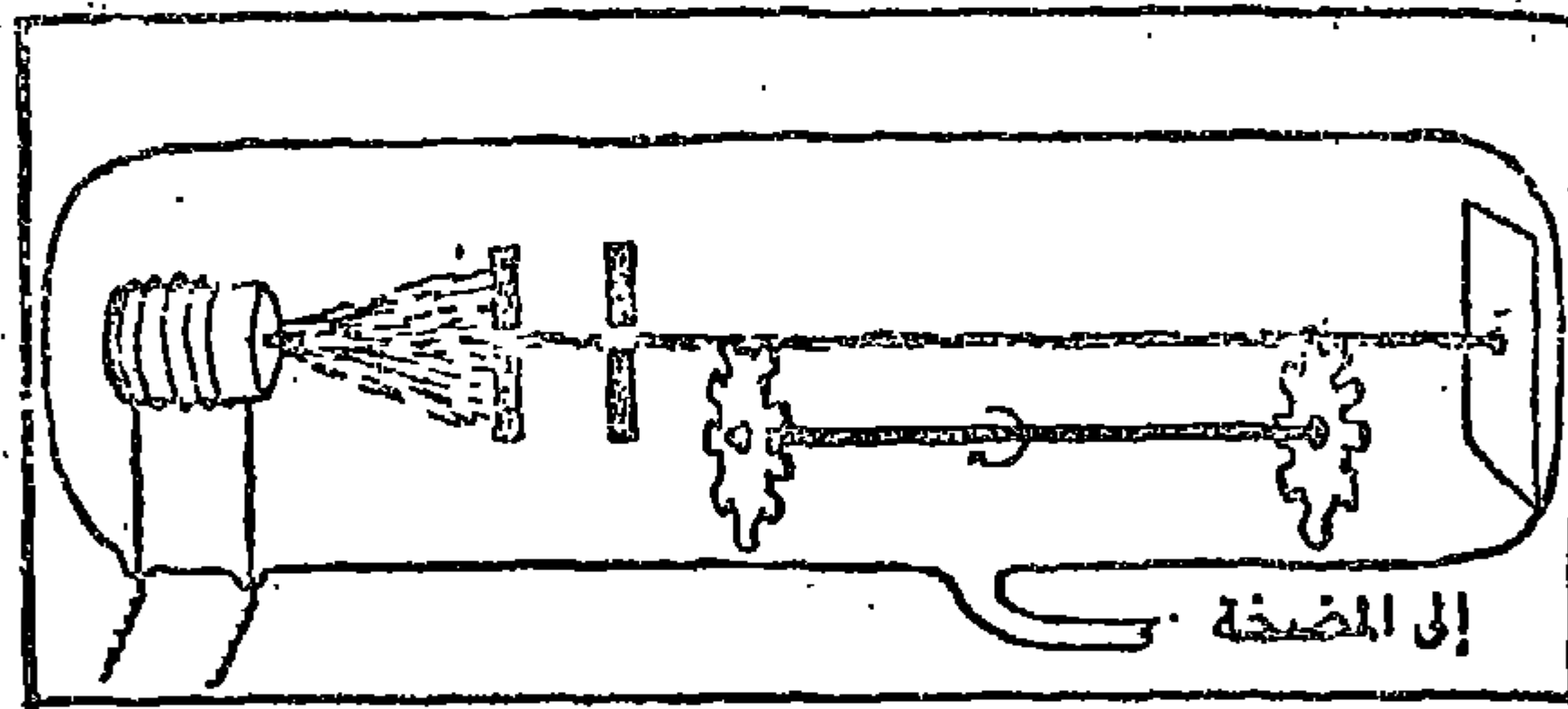


ويمكن تفهم هذا الفارق فى سلوك البخار المنطلق بكثافة عالية ومنخفضة بسهولة اذا تذكرنا أن البخار يتكون من عدد كبير من الجزيئات المنفصلة التى تندفع فى الفضاء فى كافة الاتجاهات ، وتصطدم مع بعضها باستمرار فعندما تكون كثافة تيار الغاز عالية عند اندفاعه من الفتحة ، يصبح الأمر شبيها بالجمهور المسعور الذى يندفع من أبواب الخروج لمسرح مشتعل بالنار ، فبعد الخروج من الباب يستمر الجمهور فى تدافعه وينتشر أفراده فى جميع الاتجاهات فى الشارع . أما عندما تقل كثافة التيار ، يصبح الأمر كما لو كان هناك شخص واحد يمر من الباب ويليه شخص آخر بالدور وبالتالى يخرج الصف مستقيما دون تداخل .

ويعرف تيار بخار المادة المنخفض الكثافة ، والذى ينطلق من فتحة الفرن ب « الشعاع الجزيئى » ، وهو يتكون من عدد كبير من الجزيئات المنفصلة التى تطير فى الفضاء بجانب بعضها البعض . وهذا الشعاع

الجزئى يعتبر ذا نفع كبير فى دراسة خواص الجزيئات كل على حدة ،
 فيمكن للمرء على سبيل المثال أن يستعين به فى قياس سرعة الحركة
 الحرارية .

ولقد كان « أوتوشترن » أول من صمم جهازا لدراسة سرعة مثل
 هذه الأشعة الجزيئية ، وهذا الجهاز شبيه من الناحية العملية بالجهاز الذى
 استخدمه فيزو لقياس سرعة الضوء (انظر شكل ٣١) فهو يتكون من
 عجلتين مسننتين مركبتين على محور مشترك ، وهو معد بحيث لا يسمح
 للشعاع الجزيئى بالمرور الا عندما تكون السرعة الزاوية للاهتزاز مناسبة
 لمروره تماما (شكل ٤٥) . وعن طريق استخدام حاجز أمام الأشعة الجزيئية
 لا يسمح الا بمرور شعاع واحد دقيق ، تمكن « شترن » من ايضاح
 أن السرعة الجزيئية هى بصفة عامة سرعة عالية جدا (سرعة ذرات
 الصوديوم تصل الى ١٥ كم/ث عند درجة حرارة ٢٠٠° مئوية) ، وأن
 هذه السرعة تتناسب طرديا مع درجة الحرارة . وهذا يوفر لنا دليلا
 مباشرا على النظرية الحركية للحرارة التى وفقا لها تعتبر زيادة حرارة جسم
 مجرد زيادة فى الحركة الحرارية غير المنتظمة فى جزيئاته .

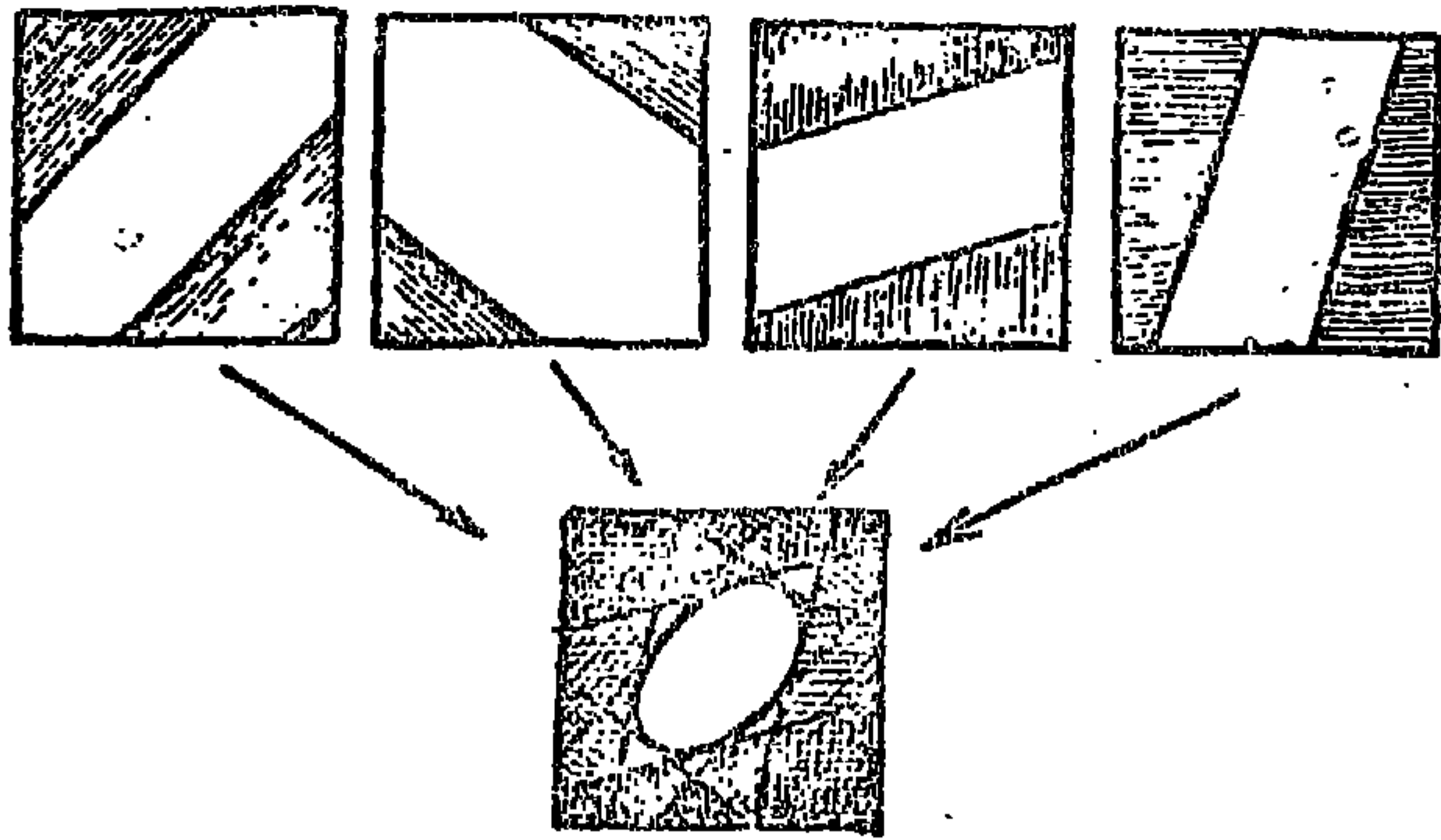


(شكل رقم ٤٥)

٤ - التصوير الذرى :

على الرغم من أن الأمثلة السابقة لا تكاد تدع سبيلا الى الشك فى
 صحة الافتراض بوجود الذرة ، ولكن هذا لا يلغى قيمة « الرؤية من
 أجل اليقين » ، لذا فإن أكثر الأدلة على اقناعنا على وجود الذرات والجزيئات
 ظل متمثلا فى رؤيتها بالعين البشرية رغم ضآلتها الشديدة ولم يتحقق
 هذا الانجاز الا منذ عهد قريب نسبيا على يدي الفيزيائى البريطانى
 « و . ل . براج » الذى ابتكر طريقة للحصول على صور الذرات والجزيئات
 منفصلة فى الأجسام البلورية المختلفة .

ولا تظن أن تصوير الذرات عملية سهلة ، إذ ان عليك أن تضع في الحسبان أن صورة هذه الأجسام الدقيقة ستكون مطموسة تماما ما لم يكن الطول الموجي للشعاع المضيء أقصر من أبعاد الجسم المراد تصويره فلا يمكن رسم منمنمة من منمنمات مخطوطة فارسية دقيقة باستخدام فرشاة الطلاء المنزلية . ويدرك البيولوجيون الذين يتعاملون مع الكائنات المجهرية حجم هذه المشكلة . تماما إذ أن حجم البكتيريا (10^{-6} سم تقريبا) يساوى الطول الموجي للضوء المرئي . وحتى يتمكنوا من الحصول على صور أكثر دقة وتحديدًا للبكتيريا فانهم يلتقطون هذه الصور المجهرية بالأشعة فوق البنفسجية (*) ، وهكذا يحصلون على نتائج أفضل نوعا من النتائج التي يمكن الحصول عايتها تحت ظروف أخرى . ولكن حجم الجزيئات والمسافات الموجودة بينها في نسق بلوري يكون صغيرا جدا (10^{-8} سم) إلى درجة أنه لا الضوء المرئي ولا فوق البنفسجي يصبح ذا نفع إذا أريد استخدامه في التصوير . فحتى يمكن تصوير الجزيئات على حدة لابد لنا حتما من استخدام اشعاع أقصر في طوله الموجي بآلاف المرات من الضوء المرئي ، أو بعبارة أخرى ينبغي استخدام ما يعرف بأشعة اكس . ولكننا سنواجه هنا بمشكلة تبدو مستعصية على الحل : فأشعة اكس عمليا تنفذ من أى مادة دون انكسار ومن ثم لا يمكن للعدسة أو الميكروسكوب أو يؤديا وظيفتهما باستخدام أشعة اكس . وهذه الخاصية بالاضافة الى النفاذية العالية لهذه الأشعة تعتبر بطبيعة الحال من الخواص النافعة جدا في علوم الطب ، إذ ان انكسار الأشعة أثناء مرورها من الجسم يؤدي حتما الى طمس الصور على أن نفس هذه الخاصية قد تستبعد تماما امكانية الحصول على أى صورة مكبرة باستخدام أشعة اكس ! .



(شكل رقم ٤٦)

(*) أطوالها الموجية تقع بين 4000 أنجستروم و 400 أنجستروم (المترجم) .

وينبذ الأمر للرحلة الأولى باعثا على اليأس ، ولكن « ول . براج »
توصل الى طريقة عبثية للتغلب على هذه العقبة . وقد بنى دراساته على
فكرة الميكروسكوب الرياضية التي وضعها « آبي » Abbé وتنص على
أن أى صورة ميكروسكوبية يمكن اعتبارها تداخلا لعدد كبير من الأنماط
المنفصلة ، وكل نمط يتمثل فى حزم من الخطوط المتوازية تخترق المجال
بزوايا معينة .

وهناك مثال بسيط لايضاح الجملة السابقة ويظهر فى شكل (٤٦)
الذى يبين كيفية الحصول على صورة لمساحة بيضاوية مضيئة وسط
رقعة مظلمة ، عن طريق تداخل أربعة أنظمة حزمية .

ويعتمد نظام العمل فى الميكروسكوب وفقا لنظرية « آبي » على :

١ - تحليل الصورة الأصلية الى عدد كبير من الأنماط الحزمية
المنفصلة .

٢ - تكبير كل نمط على حدة .

٣ - تداخل الأنماط مرة أخرى للحصول على الصورة المكبرة .

وربما كانت هذه الخطوات شبيهة بأسلوب طباعة الصور الملونة
باستخدام عدد من الشرائح المفردة الملونة . وبالنظر الى كل جزء ملون
منفصل على حدة ستجد نفسك عاجزا عن تبين هذه الصورة ، ولكن عند
تداخل هذه الأجزاء بالصورة السليمة تجد أن الصورة كلها تظهر واضحة
ومحددة .

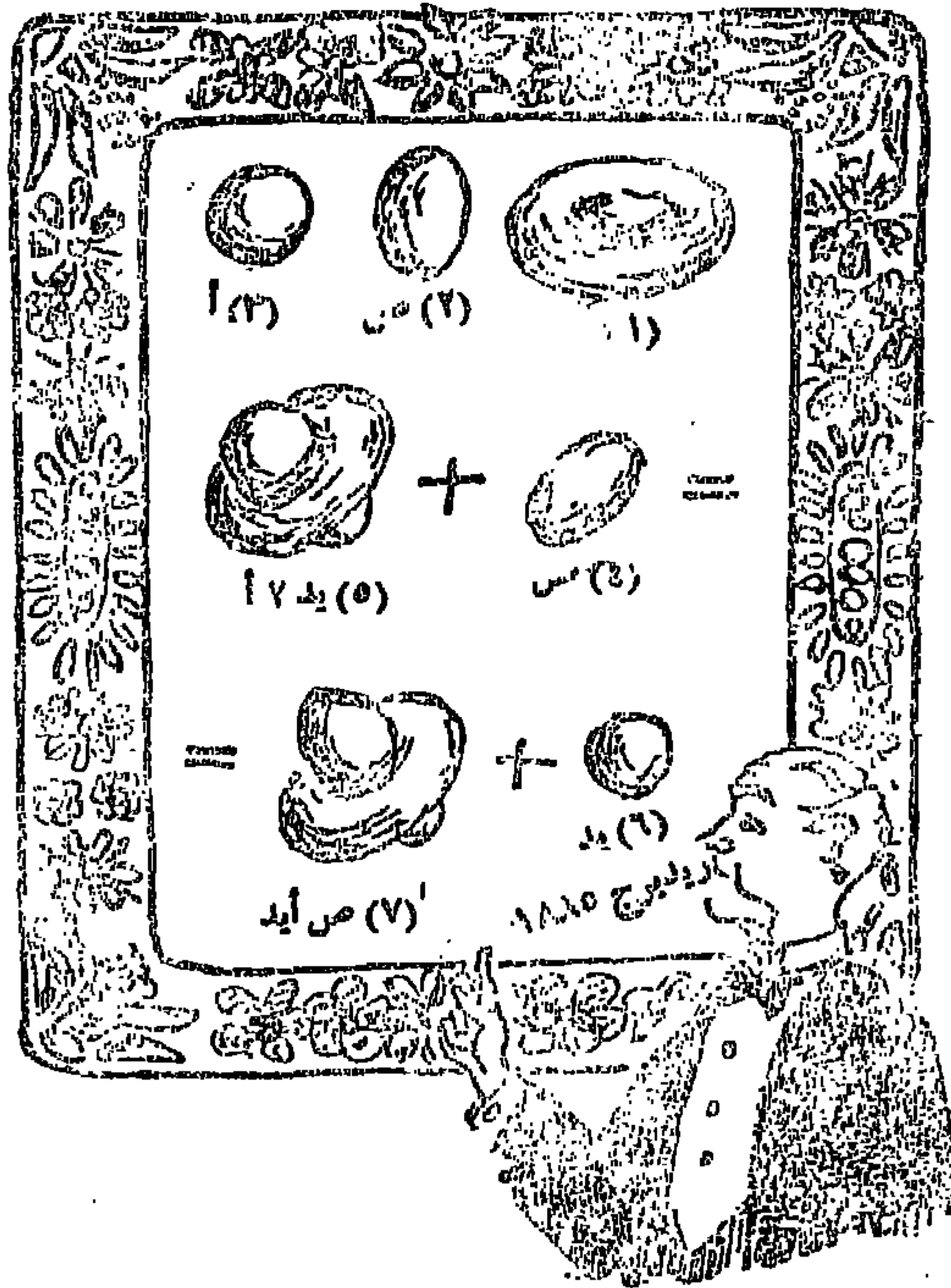
ان استعانة صناعة عدسة لأشعة اكس ، تقوم بأداء هذه العمليات
كلها بشكل أتمماتى تضطربنا الى استخدام الأسلوب التدريجى خطوة
خطوة : فنأخذ عددا كبيرا من أنماط حزم أشعة اكس للبلورة من جميع
الزوايا ثم نحدث التداخل بينها بشكل مناسب على قطعة من ورق
التصوير ، وبهذا نستطيع أن نقوم بنفس العمل الذى تؤديه عدسة أشعة
اكس تماما ، ولكن بينما تقوم العدسة بهذه العملية فى الحال تقريبا نجد
أن الطريقة الأخرى تستغرق عدة ساعات من العمل على يد خبير ماهر .
وهذا هو السبب فى أن استخدام طريقة « براج » تمكنا من الحصول
على صورة للباورات التى تكون الجزيئات فيها مستقرة فى مكانها ، ولكن
لا يمكن الحصول على صورة لهذه الجزيئات فى السوائل والغازات حيث
ان الجزيئات فيها لا تكف عن الحركة الشبيهة بالرقص الصاخب .

وعلى الرغم من أن الصورة المأخوذة باستخدام أسلوب « براج »
لا يتم الحصول عليها عمليا بلقطة واحدة من الكاميرا الا أنها لا تقل جودة

ودقة عن أى صورة مركبة • ولن تجد من يترض على أخذ صورة
لكاتدرائية باستخدام عدد من الصور الجزئية المنفصلة اذا حالت الأسباب
الفنية دون تصوير المبنى بأكمله على نيجاتيف واحد ! •

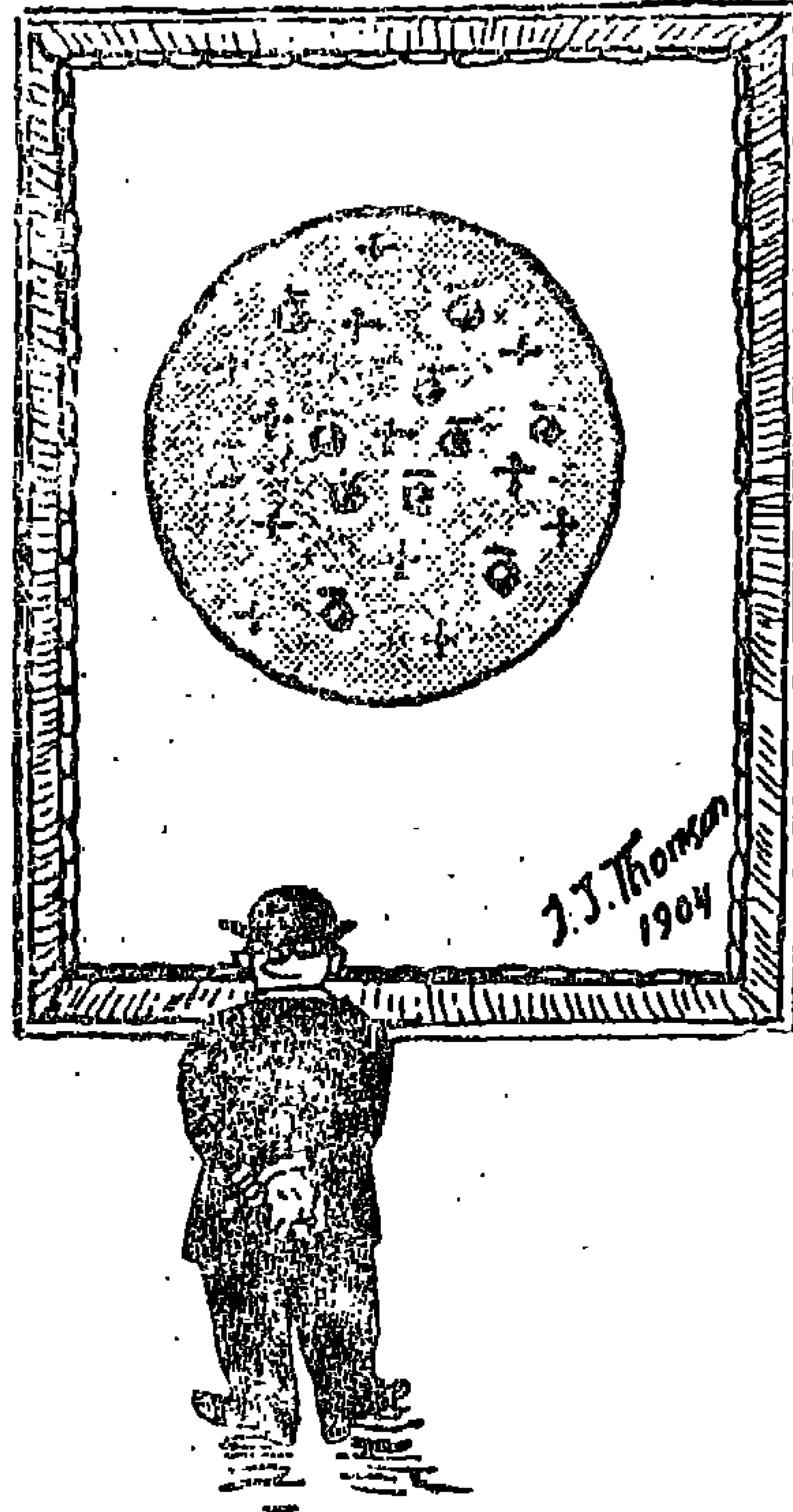
٥ - تحليل الذرة :

عندما أعطى « ديموقريطس » للذرة هذا الاسم الذى يعنى بالاغريقية
غير القابلة للانقسام ، كان يعنى بذلك أن هذه الوحدة تمثل أقصى حد يمكن
الوصول اليه عند تقسيم المادة ، أو بعبارة أخرى أنها أصغر وحدة بذائية
تتكون منها المادة • وبعد آلاف السنوات عندما تم ادماج الفكرة الفلسفية
عن « الذرة » فى العلوم الطبيعية واكتسبت صورة متكاملة استنادا الى
أدلة البحث التجريبي استمر الاعتقاد بعدم قابلية الذرة للانقسام ،
وأرجعت خصائص العناصر المختلفة فرضا الى اختلاف الشكل الهندسى
لذراتها • فكان ينظر الى ذرة الهيدروجين مثلا باعتبارها كروية تقريبا ،
بينما ساد الاعتقاد بأن الصوديوم والبوتاسيوم لهما شكل بيضاوى
مستطيل •



(شكل رقم ٤٧)

ومن ناحية أخرى كان أغلب الظن أن ذرة الأكسجين تشبه في شكلها كعكة مستديرة مفرغة من النصف ، وهكذا فإن جزيء الماء (يدمأ) يمكن الحصول عليه بوضع ذرتي هيدروجين في فتحة كعكة الأكسجين من أعلى وأسفل (شكل ٤٧) . وقد فسر طرد الصوديوم أو البوتاسيوم للهيدروجين في جزيء الماء حينئذ بأن ذرات الصوديوم والبوتاسيوم المستطيلة ، تناسب فتحة كعكة الأكسجين أكثر من ذرات الهيدروجين الكروية .



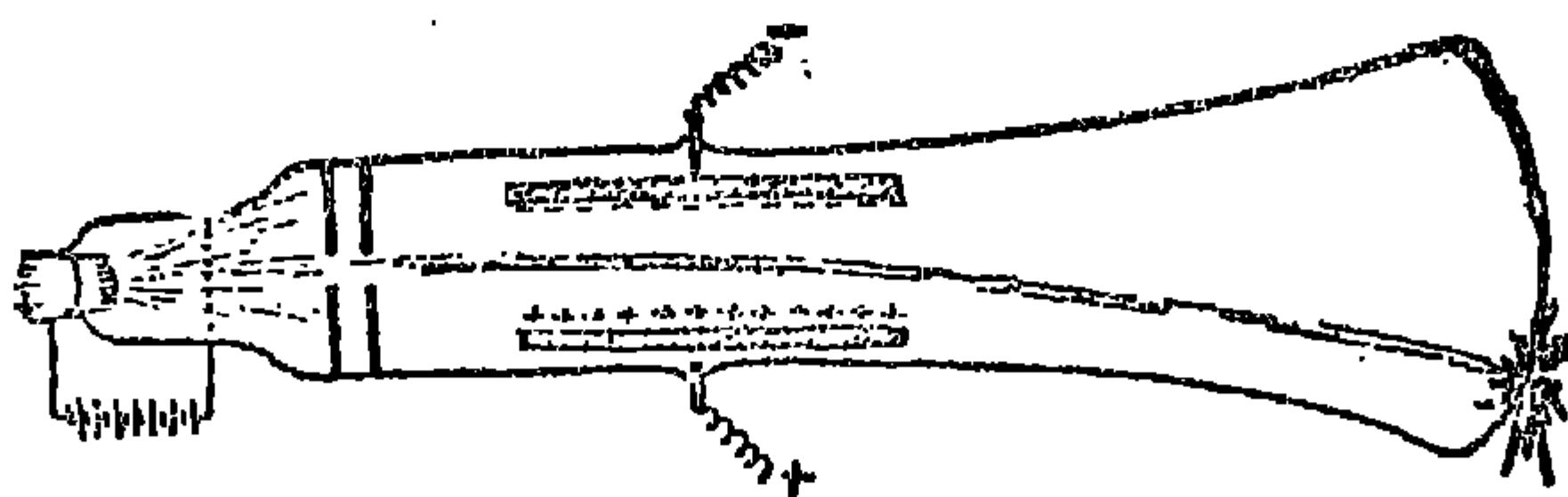
(شكل رقم ٤٨)

ووفقا لهذه الآراء فإن الاختلاف في الطيف المرئي المنبعث من العناصر المختلفة فسر على أنه نتيجة اختلافات ذبذبات الذرات المتباينة الأشكال . وبناء على هذا المنطق حاول الفيزيائيون التوصل الى استنتاجات عن أشكال مختلف الذرات التي ينبعث منها الضوء بدراسة الضوء المنبعث منها ولكن بلا جدوى ، وذلك بنفس الأسلوب الذي فسر به صوتيات الاختلافات في النغمات الصادرة عن آلة الكمان ، وجرس الكنيسة ، وآلة الساكسفون .

ومع ذلك فإن كل محاولات تفسير الخواص الكيميائية والفيزيائية المختلفة للذرات على أساس من أشبكها الهندسية لم تصادف نجاحا .

ذا شأن ، وقد حدث أول تقدم فسي في تفهم خواص الذرة عندما أصبح من المعترف به أن الذرات ليست أجساما أولية بسيطة مختلفة الأشكال ولكنها على النقيض من ذلك نظم معقدة نوعا ما وتمتلك عددا كبيرا من الأجزاء المستقلة عن بعضها في الحركة .

ويرجع شرف الريادة في عملية تحليل جسد الذرة الدقيق الى الفيزيائي البريطاني الشهير « ج . ج . طومسون » الذي نجح في ايضاح أن الذرات المختلفة للعناصر تتكون من أجزاء سالبة وأخرى موجبة تتماسك مع بعضها بتأثير قوى الجذب الكهربائي وقد تصور « طومسون » الذرة على أنها عدد من الشحنات الموجبة والسالبة المتحركة والموزعة في داخلها بشكل متجانس تقريبا (شكل ٤٨) ومجموع الشحنات السالبة أو **الالكترونات** كما أطلق عليها يعادل الشحنة الكلية للأجزاء الموجبة بحيث تكون الذرة متعادلة في مجموعها . ومع ذلك فحيث ان الالكترونات يفترض أنها ترتبط بجسم الذرة ارتباطا ضعيفا نسبيا فمن الممكن انتزاع احداها أو عدد منها من الذرة بحيث تتحول الذرة بدونها الى ما يعرف **بالايونات** (ions) الموجبة . . ومن ناحية أخرى يطلق على الذرة التي تكتسب عددا اضافيا من الالكترونات **الايونات السالبة** . وتعرف عملية اكتساب الذرة لشحنات زائدة سواء كانت سالبة أو موجبة **بالتأين** (ionisation) وقد بنى « طومسون » رأيه هذا على الأعمال القديمة « لمايكل فاراداي » الذي أثبت أنه عندما تحمل الذرة شحنة كهربية فانها تكون دائما من مضاعفات قيمة كهربية أولية تساوي عدديا 77×10^{-10} وحدة الكتروستاتيكية الا أن « طومسون » أضاف اضافة كبيرة الى نتائج « فاراداي » عندما أرجع الطبيعة الخاصة بالجزئيات الى هذه الشحنات الكهربية ، وذلك عن طريق تحديد الطرق التي يتم بها انتزاع هذه الشحنات من جسم الذرة ، ومن خلال دراسة الأطياف الصادرة عن الالكترونات التي تطير بسرعة عالية في الفضاء .



(شكل رقم ٤٩)

وكان من النتائج ذات الأهمية الخاصة لدراسات « طومسون » عن الأشعة الصادرة عن الالكترونات الحرة تقدير كتلتها . فقد أرسل شعاعا

من الالكترونات المنتزعة من بعض المواد مثل تلك التى تصنع منها الأسلاك الكهربائية الساخنة (شكل ٤٩) فى الفضاء الموجود بين صفيحتى أحد المكثفات المشحونة . ولما كانت هذه الالكترونات محملة بكهرباء سالبة أو على الأصح لما كانت هى نفسها شحنات سالبة حرة ، فقد اجتذبت الى الالكترون الموجب وتنافرت مع السالب .

ويمكن ملاحظة الانحراف الناتج بسهولة عن طريق السماح للشعاع بالسقوط على شاشة فلورسنت موضوعة وراء المكثف . وبمعرفة شحنة الألكترون ، وانحرافه فى مجال كهربى معين أصبح من الممكن تقدير كتلته ، وقد ثبت أنها ضئيلة جدا فى الواقع . والحق أن « طومسون » وجد أن كتلة الألكترون تقل عن كتلة ذرة الهيدروجين ١٨٤٠ مرة ، وهذا دليل على أن أغلب كتلة الذرة تتركز فى الأجزاء الموجبة منها .

ورغم أن « طومسون » كان مصيبا تماما فى آرائه عن حشود الالكترونات السالبة التى تتحرك داخل الذرة ، إلا أن الصواب جانبه كثيرا بالنسبة للتوزيع المتجانس للشحنات الموجبة داخل جسم الذرة فقد بين « رذرفورد » عام ١٩١١ أن كلا من الشحنة الموجبة للذرة وكذا الجزء الأكبر من كتلتها يتركزان فى نواة ضئيلة الحجم جدا وتقع فى مركز الذرة . وقد وصل الى هذا الاستنتاج كنتيجة لتجاربه الشهيرة على تشتت الأشعة المعروفة بـ (جسيمات ألفا α) عند مرورها فى المواد . وتنطلق جسيمات أشعة ألفا الصغيرة بسرعة عالية عند انحلال ذرات بعض العناصر الثقيلة غير المستقرة (مثل اليورانيوم والراديوم) تلقائيا ، ولما كانت كتلة جسيمات ألفا قريبة من كتلة الذرة وشحنتها موجبة كما أثبت « رذرفورد » ، فقد كان لابد من اعتبارها شظايا للأصل الموجب فى الذرة . وعندما يخترق جسيم ألفا ذرات المادة الهدف ، فإنه يتأثر بقوة الجذب نحو الالكترونات وقوى التنافر بعيدا عن الأجزاء الموجبة فى الذرة . ولما كانت الالكترونات خفيفة الوزن للغاية فإنها لا تستطيع التأثير على جسيم ألفا الساقط أكثر من تأثير سرب من البعوض على حركة فيل يعدو مذعورا . ومن جهة أخرى فإن التنافر بين الأجزاء الثقيلة الموجبة فى الذرة وشحنات جسيمات ألفا الساقطة لابد أن يؤدى الى انحراف الأخيرة عن مسارها العادى وتبعثرها فى الفضاء فى جميع الاتجاهات بشرط اختراقها للذرة على مسافات قريبة من بعضها بما يكفى .

وعند دراسة تشتت الشعاع المكون من جسيمات ألفا والمار خلال شعيرة دقيقة من الألومنيوم توصل « رذرفورد » الى نتيجة مدهشة مؤداها انه لكى نفسر المشاهدات لابد لنا من افتراض أن المسافة بين جسيمات ألفا المارة والشحنة الموجبة للذرة أقل من جزء من الألف من قطر الذرة .

وهذا بالطبع يستحيل الا اذا كان كل من جسيمات ألفا الساقطة
والشحنات الموجبة للذرة أصغر بآلاف المرات من الذرة نفسها .
وهكذا أدى هذا الاكتشاف الى اختزال الشحنة الموجبة الضخمة الى نواة
ذرية صغيرة في ذرة رذرفورد ، وتقع النواة في مركز هذه الذرة تاركة
ما عدا ذلك للالكترونات السالبة ، وبدلاً من أن تشبه الذرة ثمرة البطيخ
والالكترونات اللب الموجود فيها ، أصبحت صورتها أقرب للنظام الشمسي
الدقيق حيث النواة هي الشمس ، والالكترونات من حولها كالكواكب
(شكل ٥٠) .

ومما يقوى وجه الشبه بين الذرة والنظام الكوكبي الحقائق التالية :
ان نواة الذرة تمثل ٩٩٩٧ في المائة من كتلتها بالمقارنة بكتلة الشمس
التي تمثل ٩٩٨٧ من كتلة النظام الشمسي ، كما أن المسافة بين
الالكترونات المقابلة للكواكب في النظام الشمسي تزيد على أقطارها بنفس
المعامل تقريبا (عدة آلاف من المرات تقريبا) وهو ما نجده عند مقارنة
المسافة بين الكواكب بأقطارها .



(شكل رقم ٥٠)

ومع ذلك فان أقوى أوجه التشابه يكمن في أن قوى الجذب الكهربى
بين نواة الذرة والالكترونات ، تخضع لنفس القانون الرياضى وهو المربع
المعكوس (٤) تماما كقوى الجاذبية التى تعمل بين الشمس والكواكب .
وهذا يفسر دوران الالكترونات فى مسارات دائرية وبيضاوية حول النواة
بما يشبه حركة الكواكب والنيازك فى النظام الشمسي .

ووفقا للآراء السابقة عن التركيب الداخلى للذرة فلا بد من ارجاع
الاختلاف بين ذرات العناصر الكيميائية المتباينة الى اختلاف عدد الالكترونات
التي تدور حول أنويتها . ولما كانت الذرة متعادلة ككل فلا بد أن عدد

(٤) أى أن القوى تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بين الجسمين المتأثرين بها .

الالكترونات التى تدور حول النواة يتحدد بعدد الشحنات الموجبة الموجودة
فى هذه النواة ذاتها .

ويمكن تقدير أى منهما مباشرة من التشتت الملحوظ بجسيمات ألفا
التي تنحرف عن مساراتها نتيجة للتفاعل الكهربى مع النواة . وقد وجد
« رذرفورد » أنه : فى الترتيب الطبيعى للعناصر الكيميائية المرتبة وفقا
للتزايد فى أوزانها هناك زيادة بمقدار إلكترون واحد فى كل عنصر عن
الذى يشعبه . وهكذا فإن ذرة الهيدروجين تحتوى على إلكترون واحد ،
ويوجد الكترونان فى ذرة الهليوم ، بينما تحتوى ذرة الليثيوم على
٣ إلكترونات . والبرليوم على ٤ إلكترونات وهكذا حتى أثقل العناصر
الطبيعية وهو اليورانيوم الذى يحتوى على اجمالى ٦٢ الكترونا (٥) .

ويعرف هذا التوصيف الرقمى للذرة عادة بالعدد الذرى للعنصر
محل البحث ، وهو يوافق ترتيبه الموضعى أو المكان الذى وضعه الكيميائيون
فيه وفقا لخواصه الكيميائية .

ولذا فإن جميع الخواص الطبيعية والكيميائية لأى عنصر مفترض يمكن
تعيينها ببساطة عن طريق ذكر رقم واحد وهو عدد الالكترونات التى تدور
حول نواة الذرة .

وقد لاحظ الكيميائى الروسى « د . مندليف » قبيل نهاية القرن
الماضى تكرارا دوريا هاما للخواص الكيميائية للعناصر المرتبة ترتيبا
طبيعيا . فقد وجد أن خواص العناصر تبدأ فى تكرار نفسها بعد عدد
معين من الخطوات وهذه الدورية تظهر فى رسم ايضاحى بالشكل (٥١)
والذى تظهر فيه رموز جميع العناصر المعروفة حاليا على شريط ملتف
حلزونيا على سطح اسطوانة بحيث تصطف العناصر المتشابهة فى خواصها
فى أعمدة . ونجد أن المجموعة الاولى لا تحتوى الا على عنصرين : وهما
الهيدروجين والهليوم ثم نجد مجموعتين يتكون منهما من ثمانية عناصر ،
وفى النهاية تكرر الخواص نفسها بعد كل ١٨ عنصرا . فاذا تذكرنا أن كل
خطوة فى هذا التتابع للعناصر تقابل زيادة مقدارها الكترون واحد فى
الذرة ، فلنا أن نستنتج أن الدورية التى نلاحظها فى خواص العناصر
الكيميائية ترجع دون شك الى التكرار البنائى فى الذرة لأنماط ثابتة من
الالكترونات أو « الأغلفة الالكترونية » . فالغلاف الالكترونى الأول لا بد
أن يتكون من إلكترونين ، والثانى من ثمانية الكترونات ، ثم تحتوى باقى

(٥) والآن بعد أن تعلمنا فن الكيمياء نستطيع أن نحصل صناعيا على ذرات أكثر
تعقيدا . ولذا فإن العنصر الصناعى المستخدم فى القنابل الذرية وهو البلوتونيوم يحتوى
على ٩٤ الكترونا .

الأغلفة على ١٨ إلكترونات في كل منها . ونلاحظ أيضا من شكل (٥١) أن الدورية الصارمة للخواص تبدأ في الاختلال في الدورة السادسة والسابعة قليلا ، وأن هناك مجموعتين من العناصر (وهما أكاسيد عناصر الأتربة النادرة والاكثينات) يجب وضعهما على شريط بارز عن السطح الاسطوانى المنتظم . ويرجع هذا الشذوذ الى أننا نواجه هنا إعادة ما للترتيب الداخلى للأغلفة الالكترونية مما يحدث نوعا من الثورة في الخواص الكيميائية للعناصر المذكورة .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	U
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	U

شكل رقم (٥١)

نظرة أمامية

الرموز والأوزان الذرية لمائة وثلاثة عناصر كيميائية

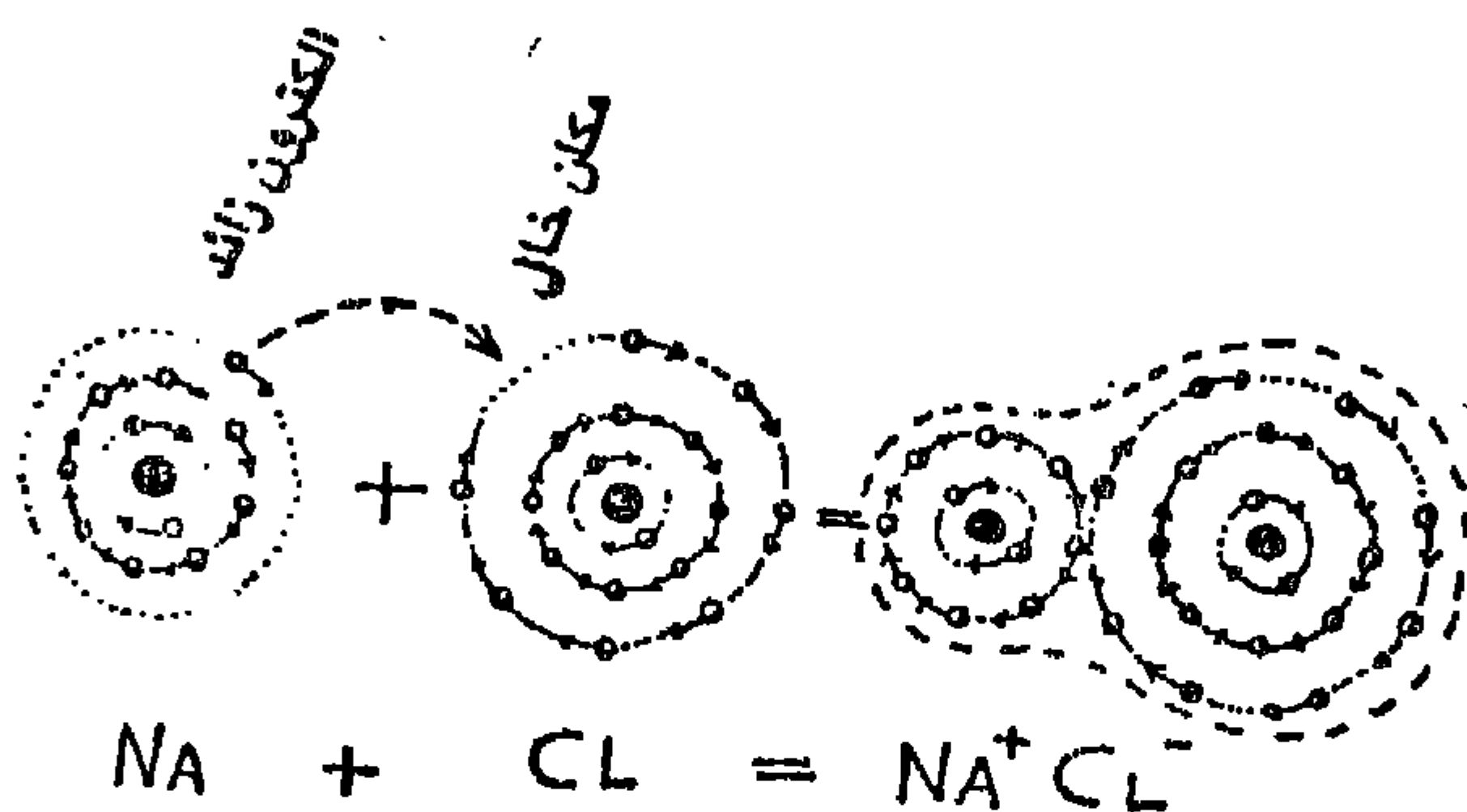
العنصر	الرمز	الوزن الذري	العنصر	الرمز	الوزن الذري
أكتينيوم	Ae	٢٢٧	نوبيليوم	No	٢٥٣
ألومنيوم	Al	٢٦٫٩٧	يوروبيوم	Eu	١٥٢٫٠
أمريكيوم	Am	٢٤٣	فرميوم	Fm	٢٢٥
أنثيمون	Sb	١٢١٫٧٦	فلور	F	١٩
أرجون	A	٣٩٫٩٤٤	فرانسيوم	Fm	٢٣٣
الزرنيخ	As	٧٤٫٩١	جادولينيوم	Gd	١٥٦٫٩
استاتين	At	٢١٠	جاليوم	Ga	٦٩٫٧٢
باريوم	Ba	١٣٧٫٣٦	جرمانيوم	Ge	٧٢٫٦٠
بركيليوم	Bk	٢٤٥	ذهب	Au	١٩٧٫٢
بزموت	Be	٩٠٫٢	هافنيوم	Hf	١٧٨٫٦
بيريليوم	Bi	٢٠٩٫٠٠	هيليوم	He	٤٫٠٠٣
بورون	B	١٠٫٨٢	هوليوم	Ho	١٦٣٫٠٤
بروم	Br	٧٩٫٩١٦	هيدروجين	H	١٫٠٠٨
كاديوم	Cd	١١٢٫٤١	إنديوم	In	١١٤٫٧٦
سيزوميوم	Cs	١٣٢٫٩١	يود	I	١٢٦٫٩٢
كالسيوم	Ca	٤٠٫٠٨	ايريديوم	Ir	١٩٣٫٩
كاليفورنيوم	Cf	٢٤٦	حديد	Fe	٥٥٫٨٥
كربون	C	١٢٫٠١٠	كربتون	Kr	٨٣٫٧٠
سيريوم	Ce	١٤٠٫١٣	لانثانوم	La	١٣٨٫٩٢
كلور	Cl	٣٥٫٤٥٧	لورنسيوم	Lw	٢٥٧٫٠٠
كروم	Cr	٥٢٫٠١	الرصاص	Pb	٢٠٧٫٢١
كوبلت	Co	٥٨٫٩٤	ليثيوم	Li	٦٫٩٤٠
نحاس	Cu	٦٣٫٥٧	لوتشيوم	Lu	١٧٤٫٩٩
كوريوم	Cm	٢٤٣	مغنسيوم	Mg	٢٤٫٣٢
ديسبروزيوم	Dy	١٦٢٫٤٦	منجنيز	Mn	٥٤٫٩٣
ايششتينيوم	Es	٢٥٤	مندلينيوم	Md	٢٤٦
أربيوم	Er	١٦٧٫٢	زئبق	Hg	٢٠٠٫٦١
نيوديميوم	Nd	١٤٤٫٢٧	موليبدينوم	Mo	٩٥٫٩٥
نبتونيوم	Np	٢٣٧	سيليكون	Si	٢٨٫٠٦
نيون	Ne	٢٠٫١٨٣	فضة	Ag	١٠٧٫٨٨٠
نيكل	Ni	٥٨٫٦٩	صوديوم	Na	٢٢٫٩٩٧
نيوبيوم	Nb	٩٢٫٩١	سترونشيوم	Sr	٨٧٫٦٣
نيتروجين	N	١٤٫٠٠٨	كبريت	S	٣٢٫٠٦

(تابع) الرموز والأوزان الذرية لمائة وثلاث عناصر كيميائية

الرمز	الوزن الذري	العنصر	الرمز	الوزن الذري	العنصر
Sm	١٥٣.٩٤	ساماريوم	Ta	١٨٠.٩٨	تانتالم
Sc	٤٥.٩٠	سكانديوم	Tc	٩٩	تكنتيوم
Sc	٧٨.٩٦	سيلينيوم	Os	١٩٠.٢	اوزميوم
Tc	١٢٧.٠٦	تليوريوم	O	١٦.٠٠	اوكتجين
Th	١٥٩.٢	ثوريوم	Pd	١٠٦.٧	بالاديوم
Tl	٢٠٤.٣٦	ثاليوم	P	٣٠.٩٨	فوسفور
Th	٢٣٢.٠٤	ثوريوم	Pt	١٩٥.٢٢	بلاتين
Tm	١٦٨.٩٣	ثيميو	Pu	٢٤٢	فلوتونيوم
Sn	١١٨.٧١	قصدير	Po	٢١٠	بولونيوم
Ti	٤٧.٨٨	تيتانيوم	K	٣٩.٠٩٦	بوتاسيوم
W	١٨٣.٨٤	تنجستون	Pr	١٤٠.٩٢	برازيليم
U	٢٣٨.٠٢	يورانيوم	Pm	١٤٥	برولميثيوم
V	٥٠.٩٤	فاناديوم	Ps	٢٣١	برافانسيوم
Xe	١٣١.٣	زينون	Ra	٢٢٦.٠٥	راديوم
Yb	١٧٣.٠٤	يتربيوم	Rn	٢٢٢	رادون
Y	٨٨.٩٢	يتريوم	Re	١٨٦.٢١	رينيوم
Zn	٦٥.٣٨	زنك	Rh	١٠٢.٩١	روثينيوم
Zr	٩١.٢٢	زركونيوم	Ru	٨٥.٤٨	روثينيوم
			Rb	٨٥.٤٨	روثينيوم

الهيدروجين والصوديوم حيث انه فى الحالة الأولى تميل كل من الذرتين الى الاكتساب وليس الفقد ، والعكس فى الحالة الثانية .

أما الذرات ذات الأغلفة المكتملة الالكترونيات مثل الهليوم ، والأرجون والنيون ، والزينوم فانها تتمتع باكتفاء ذاتى ولا تحتاج الى اكتساب أو فقد إلكترونات اضافية . فهي تفضل بقاءها فى عزلتها بحيث تجعل العناصر المقابلة (ما يطلق عليه « الغازات النادرة ») خاملة كيميائيا .



(شكل رقم ٥٢)

رسم تخطيطي يمثل اتحاد ذرتى الصوديوم والكلور لتكوين جزيء من كلوريد الصوديوم .

ونختتم هذا الجزء عن الذرات وأغلفتها الالكترونية بالإشارة الى الدور الهام الذى تقوم به الألكترونات الذرية فى العناصر المعروفة عادة تحت الاسم الشامل « الفلزات » . وتختلف العناصر الفلزية عن كافة العناصر الأخرى فى أن المدار الخارجى لهذه الذرات ضعيف الترابط الى حد ما وغالبا ما تتحرر أحد ألكتروناته . لذا فإن داخل المعدن يمتلئ بعدد كبير من الألكترونات غير المترابطة التى تدور دون هدف مثابها فى ذلك مثل جمهور من الرحالة . وعندما يتعرض سلك معدنى لقوى كهربائية تؤثر على طرفيه ، تندفع هذه الألكترونات الحرة فى اتجاه القوة وتؤدى بذلك الى حدوث ما يعرف بالتيار الكهربى . كما أن وجود الذرات الحرة يعد أيضا مسئولا عن حرارة التوصيل العالية - على أن لنا عودة الى هذا الموضوع فى أحد الفصول القادمة .

٦ - الميكانيكا المجهرية ومبدأ عدم اليقين :

بما أننا قد رأينا من الجزء السابق أن الذرة بنظام الالكترونات الدائرية حول النواة المركزية تشبه النظام الكوكبي كثيرا فطبيعى أن نتوقع أنها ستخضع لنفس القوانين الفلكية الراسخة التى تحكم حركة الكواكب حول الشمس . ولا سيما أن هناك تشابها بين قوانين الجذب الكهربى وقوانين الجاذبية . اذ إن الجذب فى الحالتين يتناسب عكسيا مع مربع المسافة مما يوحي بأن الالكترونات ستتحرك فى مدارات بيضاوية تكون بؤرتها النواة (شكل ٥٣ أ) .

ومع ذلك فإن جميع المحاولات لرسم صورة منتظمة لحركة الالكترونات الذرية بنفس الأسلوب المستخدم فى تخطيط حركة نظامنا الكوكبى قد أدت حتى عهد قريب الى كارثة ضخمة كانت متوقعة الى حد ما ، حتى بدا لفترة وكان الطبيعيين والكيميائيين قد فقدوا رشدهم . وقد نشأت المشكلة أساسا عن الحقيقة التى مؤداها أن كواكب النظام الشمسى تختلف عن الالكترونات الذرية من حيث كون الأخيرة مشحونة كهربائيا ، وكما يصح على أى شحنات كهربية متذبذبة أو مهتزة فإن حركتها الدائرية حول النواة ينتظر أن تسفر عن انبعاث اشعاع الكترومغناطيسى كثيف . ونتيجة لفقد الطاقة المنطلقة بالاشعاع ، من المنطقى أن نفترض أن الالكترونات الذرية ستقترب من النواة وتتحرك حولها فى مدارات حلزونية (شكل رقم ٥٣ ب) وأخيرا تسقط عليها عندما تستنفد الطاقة الحركية اللازمة للدوران فى الأغلفة تماما ، أما عن الوقت المستنفذ فى هذه العملية ، فقد كان من السهل نوعا ما أن نحسب من الشحنة الكهربائية المعروفة وسرعة دوران الالكترونات أن الالكترون سوف يحتاج الى حوالى واحد من مائة من الميكروثانية لفقد كل طاقته والسقوط فى النواة .



(شكل رقم ٥٣)

لذا فوفقا لأفضل ما توصل اليه الفيزيائيون من أفكار ومفاهيم حتى وقت قريب جدا فان البناء الذرى الشبيه بالنظام الشمسى سوف يعجز عن الصمود لأكثر من جزء بسيط من الثانية لا محالة ، وسوف يقدر له الانهيار الفورى بمجرد تكوينه تقريبا .

ولكن على الرغم من هذه التنبؤات الفيزيائية المتشائمة ، فقد أوضحت التجارب أن النظام الذرى شديد الثبات فى الواقع ، وأن الألكترونات الذرية تمضى دون فتور فى حركتها الدائرية حول النواة دون فقد أى طاقة أو ميل للانهيار ! .

ولكن كيف يمكن ذلك ؟! ولم يؤد تطبيق القوانين الخالدة الراسخة فى الميكانيكا على الذرات الى نتائج تتعارض تماما مع الأمر الواقع ؟ .
للإجابة على هذا السؤال تعال بنا الى أهم القضايا العلمية . وهى مشكلة طبيعة العلم ذاته . ما هو « العلم » وماذا يقصد بالتفسير العلمى للحقائق الطبيعية ؟

وكمثال بسيط دعونا نذكركم أن من القدماء من كان يظن أن الأرض مسطحة . وهم معذورون فى هذا الاعتقاد لأنك عندما تخرج الى أرض مكشوفة ، أو تبحر فى قارب على الماء سوف تجد بنفسك أن هذا أمر صحيح ، وفيما عدا ما يعترضك من تلال وجبال فان الأرض تبدو مسطحة . ويكمن خطأ القدماء ليس فى العبارة القائلة بأن « الأرض مسطحة على امتداد البصر من نقطة مراقبة معينة » ولكن فى استقراء هذه العبارة بما يخرج عن حدود المشاهدة الفعلية . والحق أن المشاهدات التى تخطت الحدود التقليدية بكثير ، مثل دراسة شكل ظلال الأرض على القمر أثناء الخسوف ، أو رحلة « ماجيلان » الشهيرة حول العالم ، قد أثبتت فى الحال خطأ هذا الاستقراء . ونحن الآن نقول أن الأرض لا تبدو مسطحة الا لأن ما نراه يمثل جزءا ضئيلا جدا من سطح الكرة الكلى . وبالمثل كما ناقشنا فى الفصل الخامس فان الفضاء الكونى قد يكون مقوسا محدودا فى حجمه على الرغم من أنه يبدو منبسطا ولا نهائى بوضوح من وجهة نظر المشاهدات القاصرة .

ولكن ما علاقة ذلك بالتناقض الذى انتهينا اليه فى دراسة السلوك الميكانيكى للألكترونات المكونة لجسم الذرة ؟ . والجواب أننا فى هذه الدراسات قد افترضنا ضمنا أن النظام الحركى للذرة يخضع تماما لنفس القوانين التى تحكم حركة الأجرام السماوية الضخمة ، أو فى هذه الحالة حركة الأجسام « ذات الحجم الطبيعى » التى تعودنا على التعامل معها فى حياتنا اليومية وبالتالي نستطيع أن نصفها بنفس الأسلوب . والواقع أن

قوانين الميكانيكا ومفاهيمها تم التوصل اليها تجريبيا على الأجسام المادية القريبة فى الحجم من الكائنات البشرية .

وقد استخدمت نفس القوانين فيما بعد لتفسير حركة الأجسام الأضخم مثل الكواكب والنجوم ، ويبدو أن نجاح ميكانيكا الأجرام السماوية الذى يتيح لنا حساب الظواهر الفلكية بدقة متناهية لملايين الأعوام مستقبلا وفى الماضى لا يدع مجالا للشك فى صلاحية استقراء هذه القوانين المعتادة لتفسير حركة الكتل الكونية الضخمة .

ولكن ما الذى يضمن لنا أن نفس قوانين الميكانيكا ، التى تفسر حركة الأجرام السماوية العملاقة كما تفسر حركة قذائف المدفعية ، وبندول الساعة ، ولعبة النحلة الدوارة ، تنطبق أيضا على حركة الالكترونات التى هى أصغر ببلايين وبلايين المرات وأخف وزنا كذلك من أقل جسم متحرك وقع فى أيدينا ؟ .

وليس هناك بالطبع سبب منطقى يجعلنا نفترض مقدما أن القوانين الميكانيكية العادية سوف تفشل فى تفسير حركة المكونات الضئيلة للذرة ، ولكن ينبغى ألا ندهش كثيرا ، اذا وجدنا هذا الفشل أمرا واقعا حقا .

لذا فان التناقض فى النتائج بسبب محاولة رسم حركة الالكترونات فى الذرة بنفس الطريقة التى يستخدمها علماء الفلك فى تفسير حركة الكواكب فى النظام الشمسى لابد من دراسته قبل أى شئ فى ضوء التغيرات الممكنة - فى مفاهيم وقوانين الميكانيكا التقليدية الأولية - عند تطبيقها على أجسام فى مثل هذه الضالة .

ومن القوانين الأولية فى هذه الميكانيكا قوانين المسار التى تظهر فى حركة الجزيئات وقوانين السرعة التى يتحرك الجسم وفقا لها فى مساره . ولقد كانت النظرية التى تقول ان أى جسم مادى متحرك يحتل فى أى زمن فرضى موقعا محددًا من الفضاء ، وان المواضع المتتالية لهذا الجسم ترسم خطا متصلا لمساره - تعد دائما من القوانين التى لا تحتاج الى برهان ، لذا شكلت أساسا هاما لوصف حركة أى جسم مادى . والمسافة بين موقعين يحتلها جسم فرضى فى لحظتين مختلفتين من الزمن ، مقسومة على الفترة الزمنية المقابلة تؤدى الى معرفة السرعة ، وقد بنيت الميكانيكا الكلاسيكية بالكامل على هذين المفهومين للموقع والسرعة . وحتى وقت قريب جدا لم يكن يخطر ببال أى عالم أن أيا من هذين القانونين الأعظمين واللذين استخدمنا فى وصف ظاهرة الحركة يمكن أن يتطرق اليهما الخطأ مهما كان حجمه ، وقد تعارف الفلاسفة على اعتبارهما من « المسلمات » .

ومع ذلك فان هذا الانقلاب الكامل الذى نشأ عن أول محاولة لتطبيق الميكانيكا الكلاسيكية على وصف حركة الأجسام داخل نظام بالغ الصغر

أوضح أن هناك خطأ جوهريا في هذه الحالة ، مما أدى الى الاعتقاد المتزايد في أن هذا « الخطأ » يمتد الى قوانين أساسية للغاية من بين تلك القوانين التي بنيت عليها الميكانيكا الكلاسيكية .

وبدت المفاهيم الكينماتية (*) الأساسية للمسار المستمر لجسم متحرك وسرعته المحددة بدقة في أى زمن فرضى شديدا الجهود حال تطبيقها على أى أجزاء صغيرة داخل الميكانيزم الذرى . وبايجاز نقول ان محاولة استقراء أفكار الميكانيكا الكلاسيكية المألوفة على نطاق الكتل البالغة الضالة قد أثبتت في النهاية أنه لا بديل عن تغيير هذه الأفكار بشكل جذرى نوعا ما عند اجراء هذه المحاولة ولكن اذا كانت المفاهيم الكلاسيكية لا تنطبق على عالم الذرة ، فلا بد أنها ليست صحيحة تماما بالنسبة لحركة الأجسام الأكبر حجما .

وهكذا نجد أنفسنا مدفوعين الى النتيجة التي مفادها أن المبادئ التي تقوم عليها الميكانيكا الكلاسيكية لابد من اعتبارها جسرا لا يصلح الا لاعطاء تقديرات قريبة جدا من « الشئ » الأصلي « وهي تقديرات تفشل فشلا ذريعا بمجرد أن نحاول تطبيقها على نظم أكثر دقة من تلك التي وضعت لها أصلا .

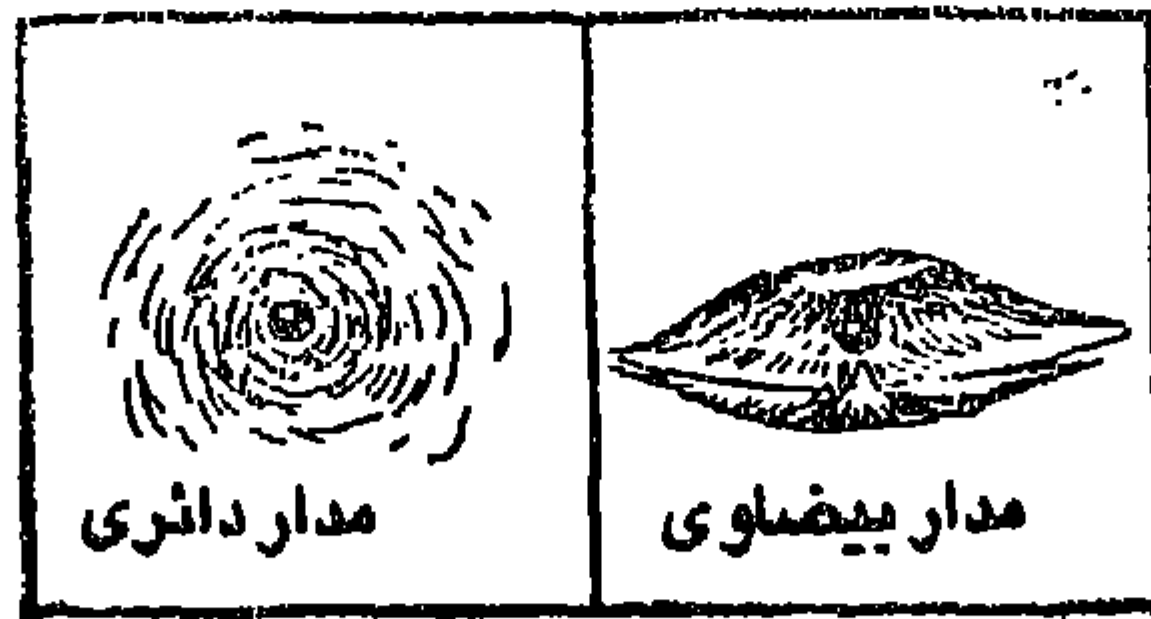
ويكمن العنصر الجديد الذى استحدث في العلم نتيجة لدراسة السلوك الميكانيكى للنظم الذرية ، وللقوانين التي عرفت بفيزياء الكم في اكتشاف الحقيقة التي مؤداها أن هناك حدا أدنى معيناً لآى تفاعل ممكن بين جسيمين مختلفين ، وهذا الاكتشاف يقلب التعريفات الكلاسيكية عن مسار الجسم المتحرك رأسا على عقب . والحقيقة أن العبارة التي تقول ان ثمة شيئا مثل المسار الرياضى المسحوب بدقة لجسم متحرك تنطوى على امكانية تسجيل هذا المسار باستخدام جهاز معد خصيصا لذلك . ومع هذا فينبغى ألا ننسى عند تسجيل مسار أى جسم متحرك أننا سوف نحدث خللا لا محالة في الحركة الأصلية ، والواقع لو أن الجسم المتحرك قد أثر بقوة ما على جهاز القياس الذى يسجل مواقعه المتتابة في الفضاء ، فان الجهاز يؤثر برّد فعل على هذا الجسم تبعا لقوانين نيوتن عن التساوى بين الفعل ورد الفعل . فاذا استطعنا الحد من هذا الأثر الى أقل درجة ممكنة كما كان مفترضا في الفيزياء الكلاسيكية (والأثر هنا هو الفعل ورد الفعل بين الجسم المتحرك والجهاز المستخدم لتسجيل موقعه) نستطيع أن نتصور جهازا مثاليا حساسا الى درجة أنه يستطيع تسجيل المواقع المتتالية للجسم المتحرك دون احداث أى خلل في الحركة عمليا .

(*) المتعلقة بعلم الحركة المجردة (المترجم) .

ان وجود حد أدنى للتفاعل الفيزيقي يغير الوضع تغيرا جذريا الى حد ما ، ذلك أننا لا نستطيع أن نقلل من الخلل الناتج عن عملية التسجيل الى قيم حكمية ضئيلة . لذا فان الخلل الحركي الناشئ عن مراقبتها يصبح جزءا لا يتجزأ من الحركة نفسها ، وبدلا من أن نتحدث عن الخط الرياضي الدقيق الممثل للمسار ، نجد أنفسنا مضطرين الى استخدام تعبير حزمة منتشرة عريضة ومن ثم فان المسارات الرياضية المحددة في الفيزياء القديمة تتحول الى حزم كثيفة في عيون علماء الميكانيكا المعاصرين .

ان الحد الأدنى للتفاعل الطبيعي ، أو كم الفعل كما يطلق عليه هو مع ذلك ذو قيمة عددية ضئيلة ، وعديم الأهمية الا عند دراسة حركة الأجسام المتناعية في الصفر . لذا فان مسار طليقة المسدس مثلا على الرغم من أنه حسابيا ليس خطا حادا الا أن « سمك » هذا المسار يقل مرات ومرات عن حجم ذرة واحدة من المادة المصنوع منها الطليقة ، ومن ثم يمكن أن نفترض عمليا أنه مساو للصفر ، ومع ذلك بالانتقال الى أجسام أخف تخضع للخلل الناشئ عن أجهزة القياس أكثر من غيرها نجد أن سمك مساراتها يصبح أكبر . وفي حالة الالكترونات الذرية التي تدور حول النواة المركزية يصبح مداراتها أقرب الى أقطارها ، ولذا بدلا من تمثيل حركتها باستخدام خط كما فعلنا في شكل (٥٣) ، نحن مضطرون الى تصورها كما نراها في شكل (٥٤) . وفي هذه الحالات لا يمكن وصف حركة الأجسام الصغيرة باستخدام التعابير المألوفة في الميكانيكا الكلاسيكية ، ويخضع كل من موقعها وسرعتها لنوع من عدم التحديد (علاقات عدم التحديد لهيزنبرج وقاعدة بوهر التكميلية) (٦) .

ويبدو أن هذا التطور المدهش في الفيزياء القديمة ، والذي كان من نتائجه القاء كل المفاهيم المألوفة عن مسار حركة جسم صغير وتحديد موقعه وسرعته في سلة المهملات ، قد تركنا صفر اليدين . فاذا كنا غير



(شكل رقم ٥٤)

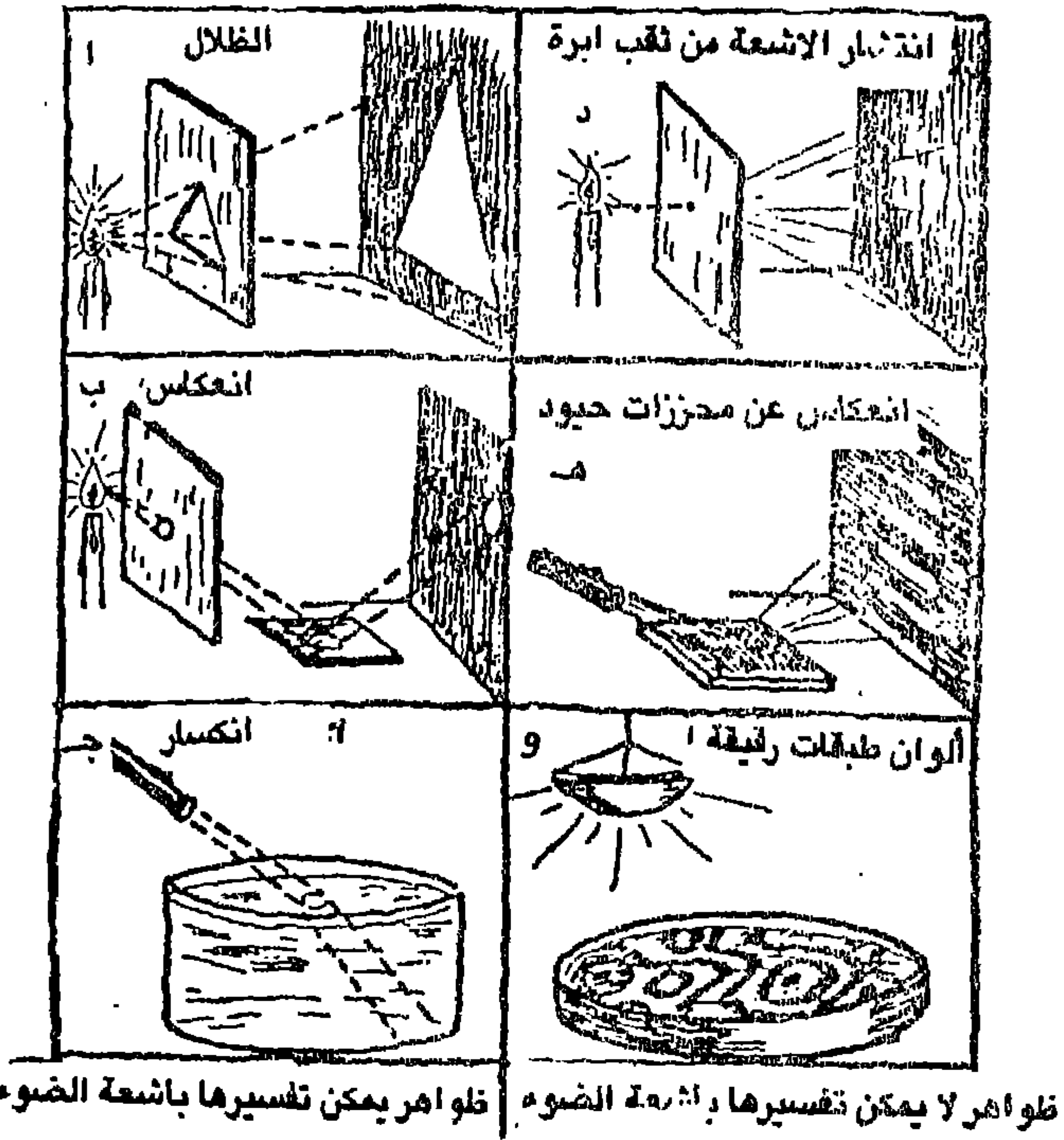
صور ميكانيكية مجهرية للحركة الالكترونية في الذرة

(٦) يمكن الرقوف على مناقشة أكثر تفصيلا لعلاقات عدم التحديد في كتاب (هستر . تومبكينز في بلاد العجائب) للمؤلف . دار نشر ماكجيلان نيويورك عام ١٩٤٠ .

مسموح لنا أن نستخدم هذه المبادئ الأولية التي كانت مقبولة فيما مضى عند دراستنا للالكترونات الذرية ، فعلى أى شئ نستطيع أن نعتمد فى فهمنا لحركتها ؟ وما هى الصيغة الرياضية التى يجب احلالها محل أساليب الميكانيكا الكلاسيكية حتى نستطيع معالجة حالات عدم تحديد الموقع ، والسرعة ، والطاقة ، وما الى ذلك من الأشياء التى تتطلبها فيزياء الكم ؟ . ونستطيع الاجابة على هذه الأسئلة من حالة شبيهة كانت قائمة فى النظرية الكلاسيكية للضوء : نحن نعلم أن أغلب ظواهر الضوء التى شاهدناها فى الحياة العادية يمكن تفسيرها بالاعتماد على الافتراض القائل ان الضوء ينتشر فى خطوط مستقيمة تعرف **بالأشعة الضوئية** . ولهذا فان شكل الظلال الناشئة عن سقوطها على جسم غير منفذ ، وانعكاس الأشعة عن المرايا بجميع أنواعها وأثر العدسات والأجهزة البصرية ، كل هذه الأمور يمكن تفسيرها بناء على القوانين الأولية التى تتحكم فى انعكاس الأشعة وتشتيتها (شكل ٥٥ أ ، ب ، ج) .

ولكننا نعرف أيضا أن مناهج الهندسة البصرية التى تفسر انتشار الضوء على أساس أنه ينتشر فى خطوط مستقيمة تفشل تماما عندما تكون الأبعاد الهندسية لفتحات مرور الأشعة مقاربة للطول الموجى للضوء . وهنا تظهر على السطح الظواهر المعروفة بـ « **ظواهر الحيود** » ، التى تخرج تماما عن نطاق هندسة البصريات . لذا فان الشعاع الضوئى المنار من فتحة ضيقة جدا (من رتبة الـ ٠.٠٠١ سم) يعجز عن الانتشار فى خطوط مستقيمة ويتشتت فى صورة أقرب الى المروحة بدلا من ذلك (شكل ٥٥ د) فاذا ما سقط شعاع ضوئى على مرآة حز سطحها عدد كبير من الخطوط الدقيقة المتوازية ، ويؤلف ما يعرف بـ « **محزور الحيود** » ، فإنه لا يخضع لقوانين الانعكاس المألوفة ، ولكنه ينتشر فى مختلف الاتجاهات التى تتحدد بالمسافة بين الخطوط المحزوزة والطول الموجى للضوء الساقط (شكل ٥٥ هـ) . ومن المعروف أيضا أن انعكاس الضوء من طبقة رقيقة من الزيت المنتشر على سطح الماء يؤدى الى ظهور نظام غريب من الأهداب الفاتحة والقاتمة (شكل ٥٥ و) وفى جميع هذه الحالات ، يفشل المفهوم المألوف عن « **الشعاع الضوئى** » تماما فى وصف الظاهرة الملحوظة ، ونجد بدلا من ذلك نظام التوزيع المستمر للطاقة الضوئية فى الفضاء الكلى الذى يحتله النظام البصرى .

ومن السهل أن نفهم أن فشل مفهوم شعاع الضوء فى تطبيقه على ظاهرة التشتت البصرى يشبه كثيرا فشل مفهوم **المسار الميكانيكى** فى ظاهرة فيزياء الكم ، فكما نعجز فى البصريات عن الحصول على شعاع دقيق لا نهائى ، نجد أن مبادئ ميكانيكا الكم تحول بيننا وبين التحدث عن



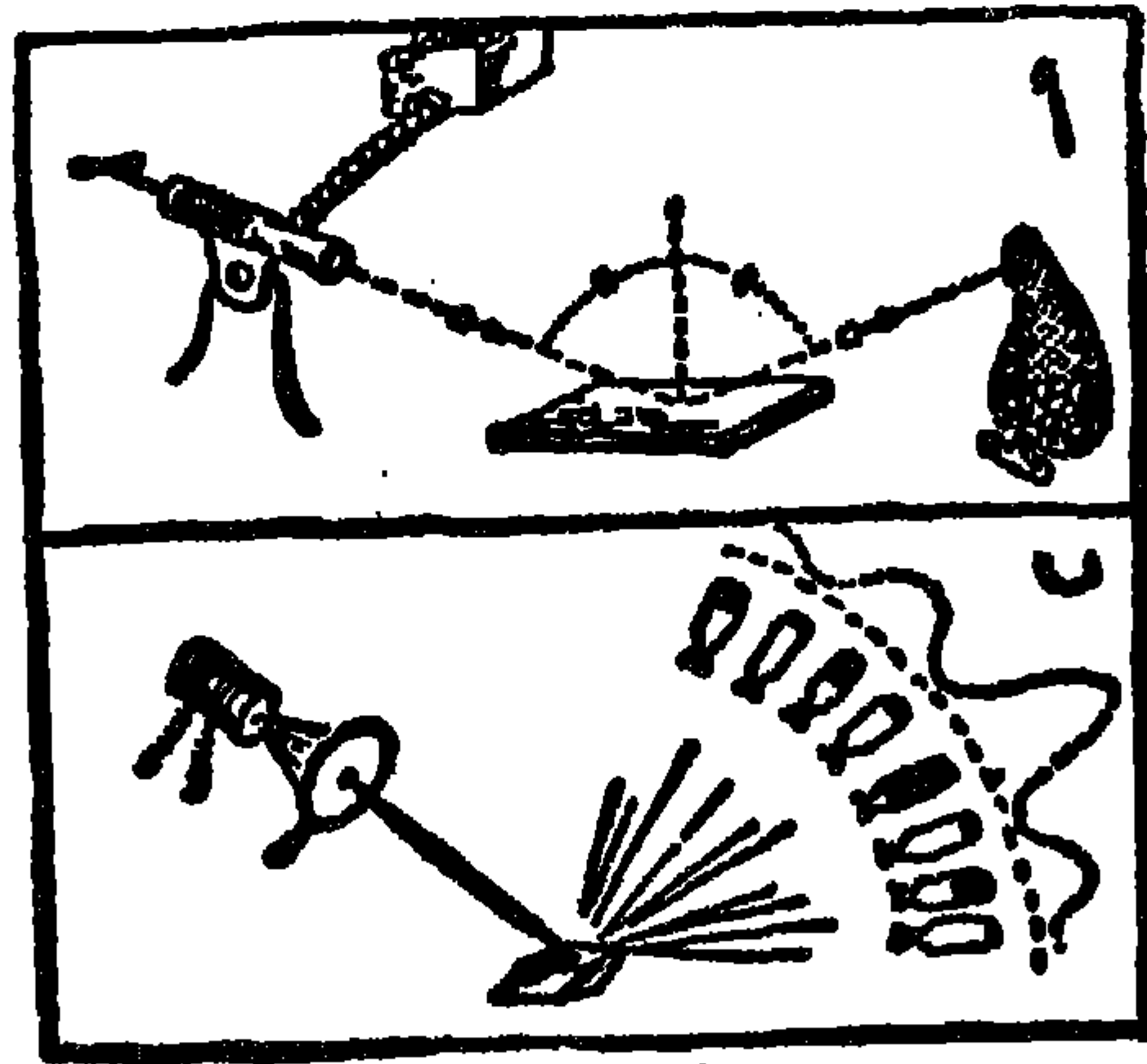
(شكل رقم ٥٥)

المسارات اللانهائية الدقيقة لجسيم متحرك . وفي الحالتين علينا أن نتخلى عن كافة محاولتنا لوصف الظاهرة عن طريق القول ان شيئاً ما (الضوء أو الجسيمات) ينتشر على امتداد خطوط رياضية معينة (أشعة بصرية ، أو مسارات ميكانيكية) ، ونحن مضطرون الى اللجوء في عرض هذه الظاهرة المعروفة الى « شيء » ينتشر باستمرار في الفضاء الكلي . وهذا « الشيء » في حالة الضوء هو كثافة الذبذبات الضوئية عند نقاط مختلفة ، وفي الميكانيكا هو المفهوم الذي استحدث مؤخرًا عن عدم التأكد من الموقع ، وهو احتمال وجود جسيم متحرك عند أي لحظة فرضية ، ليس في نقطة محددة سلفًا ، ولكن في نقطة واحدة من عدة نقاط ممكنة . فلم يعد ممكناً أن نحدد بالضبط مكان جسيم متحرك في لحظة فرضية ما ، على الرغم من أن الحدود التي يمكن فيها استخدام هذه الجملة يمكن حسابها بالصيغ الخاصة بـ « علاقات عدم التحديد » .

ويمكن ايضاح العلاقة بين قوانين البصريات الموجية الخاصة بانتشار الضوء ، وقوانين « الميكانيكا المجهريّة » أو « الموجية » (وضع هذه القوانين لـ دي بروي ، و إى . شرودينجر) الخاصة بالحركة الميكانيكية للجسيمات بالتجارب التي توضح تشابه هذين النوعين من الظواهر .

وترى فى شكل (٥٦) الجهاز الذى استخدمه « شترن » فى دراسته للتشتت الذرى ، حيث ينعكس شعاع من ذرات الصوديوم ، نحصل عليه بالطريقة التى أوضحناها فيما سبق من هذا الفصل ، على سطح بلورى . وتعمل الطبقة الذرية المتجانسة التى تشكل النسق البلورى فى هذه الحالة كمحزوز حيود للشعاع الساقط المكون من جسيمات صغيرة ، ثم يتجمع شعاع الصوديوم الساقط بعد انعكاسه على سطح البلور فى سلسلة من الزجاجات الصغيرة الموضوعة على زوايا مختلفة ، ويتم حساب عدد الذرات المجموعة فى كل زجاجة بعناية : والخط المنحنى المتقطع فى هذا الشكل يعبر عن النتيجة ، ونجد أنه بدلا من انعكاس ذرات الصوديوم فى اتجاه محدد (كالكريات التى تنطلق من بندقية لعبة على سطح معدنى) يتشتت الصوديوم فى زاوية محددة تكون نموذجا شبيها جدا بما نلاحظه فى تشتت أشعة اكس .

ولا يمكن تفسير التجارب من هذا النوع استنادا الى الميكانيكا الكلاسيكية التى تصف حركة الذرات المنفصلة بطول مسارات محددة ، بل انها غير مفهومة اطلاقا من وجهة نظر علم الميكانيكا المجهرية المعاصر والذى ينظر الى حركة الجسيمات بنفس الشكل الذى ينظر به علم البصريات الحديث الى انتشار الموجات الضوئية .



(شكل رقم ٥٦)

(ا) ظاهرة يمكن تفسيرها باستخدام مفهوم المسار (انعكاس محتمل كريات

على سطح معدنى) .

(ب) ظاهرة غير قابلة للتفسير باستخدام مفهوم المسار (انعكاس ذرات

الصوديوم على سطح بلورى) .

الفصل السابع

الكيمياء الحديثة

١ - الجسيمات الأولية :

بعد أن عرفنا أن ذرات العناصر الكيميائية المختلفة تمثل نظاما ميكانيكا معقدا الى حد ما ، حيث يوجد فيها عدد كبير من الالكترونات التي تدور حول النواة المركزية ، لا مفر لنا من أن نسأل عما اذا كانت لأنوية الذرية هي أصغر وحدة غير مرئية من المادة ، او أنها يمكن أن تنقسم بدورها الى أجزاء أصغر وأصغر . وهل يمكن أن يختزل عدد الأنماط الذرية المختلفة (٩٢) الى عدد أقل من الجسيمات البسيطة ؟

في منتصف القرن الماضي أدت هذه الرغبة في التبسيط الى دفع عالم كيميائي انجليزى هو « ويليام بروت » الى وضع فرضية تنص على أن :

ذرات جميع العناصر الكيميائية لها طبيعة مشتركة ولا تشمل الا درجات مختلفة من « تركيز » ذرات الهيدروجين . وقد بنى « بروت » هذه الفرضية على الحقيقة التي مفادها أن الأوزان الذرية المحددة كيميائيا، للعناصر المختلفة بالنسبة للهيدروجين هي غالبا قريبة جدا من العدد الصحيح . وهكذا فوفقا لرأى « بروت » لابد من النظر الى ذرة الاكسجين وهي أثقل من الهيدروجين ب ١٦ مرة باعتبارها مكونة من ١٦ ذرة هيدروجين مجتمعة معا . وذرة اليود التي يبلغ وزنها ١٢٧ مرة قدر الهيدروجين لابد أنها تتكون من ١٢٧ ذرة هيدروجين معا وهكذا .

ومع ذلك فان الاكتشافات الكيميائية في هذا الوقت لم تمل الى قبول هذه الفرضية الجريئة . فقد اتضح بالقياس الدقيق للأوزان الذرية أنها لا تساوى أرقاما صحيحة تماما ، ولكنها في أغلب الأحيان تقترب من

الأرقام الصحيحة ، بل انها في بعض الحالات أيضا تكون بعيدة عن هذه الأرقام (فالوزن الذرى للكلور على سبيل المثال هو ٣٥.٥) .

وقد أدت هذه الحقائق التى تتعارض مباشرة وبوضوح مع فرضية « بروت » الى اسقاطها ، حتى مات بروت دون أن يعلم حتى مدى ما ذهب اليه من الصواب فى فكرته .

ولم يكتب لهذه الفرضية أن تبعث من جديد حتى عام ١٩١٦ عندما اكتشف الفيزيائى البريطانى « ف. و. أستون » أن الكلور العادى تتشابه خواصه الكيميائية رغم أن له وزنين ذريين صحيحين وهما ٣٥ ، ٣٧ .

وهذا الرقم غير الصحيح (٣٥.٥) الذى حصل عليه الكيميائيون لا يمثل الا المتوسط الحسابى لهذا الخليط (١) .

وقد كشفت الدراسات اللاحقة للعناصر الكيميائية عن حقيقة مذهلة وهى أن أغلب هذه العناصر يتكون من خليط تشترك مكوناته فى خواصها الكيميائية وتختلف فى الوزن الذرى . وقد أطلق عليها اسم **النظائر (*)** وهى عناصر تحتل نفس المكان فى الجدول الدورى (٢) . وكان من أثر حقيقة أن كتل النظائر هى دائما مضاعفات لكتلة الهيدروجين أن بعثت الحياة فى فرضية بروت « المنسية » ، وقد رأينا فى الفصل السابق أن معظم كتلة الذرة يتركز فى النواة ، وبهذا يمكننا إعادة صياغة فرضية « بروت » بلغة عصرية فنقول : **ان الأنوية المختلفة تتركب من أعداد من أنوية الهيدروجين الأولية التى عرفت باسم خاص وهو « البروتونات » للذرة الذى تقوم به فى بناء المادة .**

رغم ذلك فهناك تعديل واحد هام يجب اجراؤه فى العبارة السابقة . فانظر مثلا الى نواة ذرة الاكسجين التى تحتل الترتيب الثامن فى الجدول الطبيعى ، فلا بد أن ذرته تحتوى على ٨ إلكترونات ونواته تحتوى على ٨ شحنات أولية موجبة . ولكن ذرة الاكسجين أثقل من ذرة

(١) حيث ان الكلور الأثقل وزنا يوجد بنسبة ٢٥٪ من الإجمالى والأخف بنسبة ٧٥٪ فلا بد وان يكون الوزن الذرى المتوسط :

$$35.5 = 35 \times 0.75 + 37 \times 0.25$$

وسر يساوى تماما ما اكتشفه الكيميائيون السابقون .

(٢) مكونة من كلمتين يونانيتين بمعنى مساو و مكان

isotopes

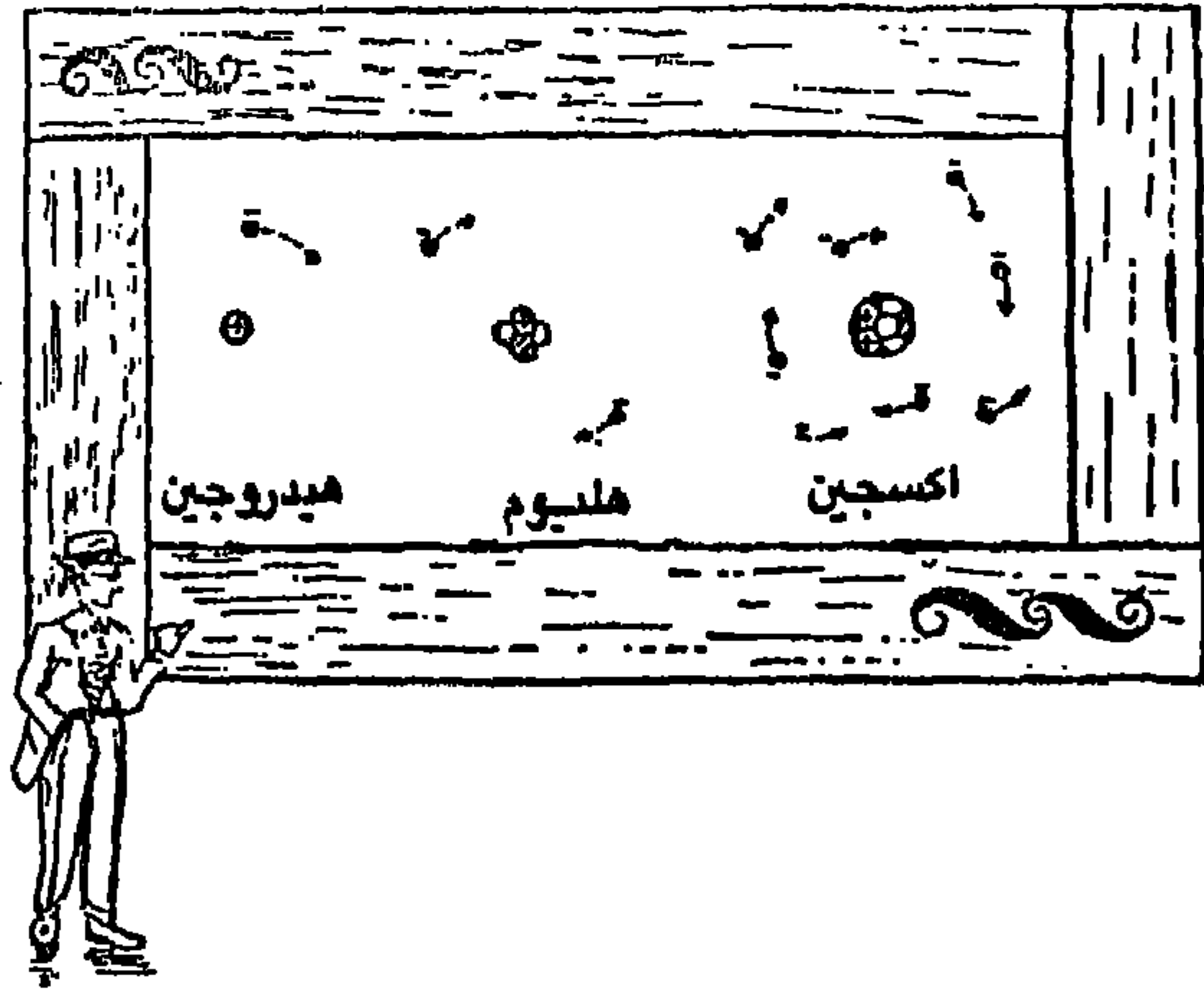
(*)

الهيدروجين ب ١٦ مرة . لهذا اذا افترضنا أن ذرة الاكسجين تحتوى على ٨ بروتونات فلا بد أن الشحنة صحيحة ولكن الكتلة خاطئة (فكل منهما يساوى ٨) واذا افترضنا وجود ١٦ بروتونا أصبحت لدينا كتلة صحيحة ولكن الشحنة خاطئة (فكل منهما يساوى ١٦) .

والمخرج الوحيد من هذا المأزق يكمن فى افتراض أن بعض البروتونات الداخلة فى تركيب أنوية الذرات المعقدة تفقد شحنتها الأصلية الموجبة وتصبح متعادلة كهربيا .

ووجود هذه البروتونات غير المشحونة أو « النيوترونات » كما يطلق عليها الآن ، كان فكرة طرحها « رذرفورد » عام ١٩٢٠ ، ولكن الأمر اقتضى مرور اثنى عشر عاما على هذه الفكرة ليتم اثباتها تجريبيا .

وهنا يجدر ملاحظة أن البروتونات والنيوترونات لا يجب النظر اليهما باعتبارهما نوعين مختلفين من الجسيمات بل حالتين مختلفتين كهربيا لنفس الجسيم المعروف باسم « النوية » ، فالحقيقة أنه من المعروف أن البروتون يمكن أن يتحول الى نيوترون بفقد الشحنة الموجبة كما يمكن للنيوترون أن يتحول الى إلكترون باكتسابه لهذه الشحنة .



شكل رقم (٥٧)

ان دخول النيوترون كوحدة بنائية فى نواة الذرة يحل المشكلة التى ناقشناها فى الصفحات السابقة . وحتى نفهم كيف تحتوى نواة الاكسجين على ١٦ وحدة كتلة و ٨ وحدات شحنة لابد من التسليم بأنها تتركب من (٨) بروتونات و (٨) نيوترونات . أما نواة اليود ووزنها الذرى (١٢٧) وعددها الذرى (٥٣) فهى تتكون من ٥٣ بروتونا ، و ٧٤ نيوترونا بينما

يتكون عنصر اليورانيوم الثقيل (وزن ذرى ٢٣٨ ، وعدد ذرى ٩٢) من ٩٢ بروتونا و ١٤٦ نيوترونا (٣) .

وهكذا بعد قرن تقريبا من ظهور فرضية بروت الجريئة نالت ما تستحقه من احترام واعتراف ونستطيع الآن القول ان الأنواع المختلفة من العناصر انما نشأت عن صور متباينة من توليفات نوعين وحيدين من الجسيمات وهما :

١ - **النويات** وهى الجسيمات الأولية فى المادة وقد تكون اما متعادلة واما موجبة فى شحنتها .

٢ - **الالكترونات** وهى شحنات حرة سالبة كهربيا (شكل ٥٧) اليك اذن وصفات مأخوذة من « المرجع الشامل فى طهى المادة » توضح كيفية اعداد كل طبق فى المطبخ الكونى من ثلاثة معبأة بالنويات والالكترونات : الماء : حضر عددا كبيرا من ذرات الاكسجين ويمكن ذلك باستخدام توليفة من ٨ نويات متعادلة و ٨ مشحونة ونواة تحيط بها وتحصل عليها باستخدام ٨ إلكترونات . ثم حضر ضعف هذه الكمية من الهيدروجين بتوصيل كل الكترون مفرد بنوية واحدة مشحونة وأضف الى كل ذرة أكسجين ذرتين من الهيدروجين واخلطهما معا . ثم قدم جزيئات الماء التى تحصل عليها فى كوب مثلج .

ملح المائدة : حضر ذرات الصوديوم بتركيب كل ١١ نوية متعادلة مع ١١ نوية مشحونة ثم أضف لكل نواة ١١ إلكترون . ثم جهز عددا مماثلا من ذرات الكلور بخلط كل ١٨ أو ٢٠ نوية متعادلة مع ١٧ نوية مشحونة (نظائر) ثم أضف الى كل نواة ١٧ الكترونا . رتب الصوديوم والكلور فى ترتيب شبيه بقاعدة الشطرنج لتحصل على بلورات ملح منتظمة .

ت ن ت (*) : أعد ذرات الكربون بمزج كل ٦ نويات متعادلة و ٨ مشحونة ب ٦ إلكترونات تصاحب النواة . ثم جهز ذرات النيتروجين من ٧ نويات متعادلة و ٧ مشحونة مع استخدام إلكترونات حول النواة . أعد ذرات الاكسجين والهيدروجين وفقا للوصفة السابقة (انظر تحضير

(٣) بالنظر الى جدول الأوزان الذرية نلاحظ أنه عند بداية النظام الدورى بتساوى الوزن الذرى مع ضعف الرقم الذرى ، وهذا يعنى أن هذه الأنوية تحتوى على عدد من البروتونات مساو لعدد النيوترونات . أما فى العناصر الأثقل يزداد الوزن الذرى بمعدل أسرع مما يدل على نفوق النيوترونات على البروتونات فى العدد .

(*) ثالث نترات التولوين شديد التفجر .

(الماء) . رتبنا ذرات كربون فى حلقة بحيث تكون هناك ذرة سابعة خارج هذه الحلقة . أضف ثلاثة أزواج من ذرات الاكسجين الى ثلاث من ذرات الكربون فى الحلقة بحيث تضع فى كل مرة ذرة نيتروجين بين الاكسجين والكربون . أضف ثلاث ذرات هيدروجين الى ذرة الكربون خارج الحلقة وذرتى هيدروجين فى كل من مكانى ذرتى الكربون الخاليين فى الحلقة . رتب الجزيئات التى حصلت عليها فى نموذج منتظم للحصول على عدد كبير من البلورات الصغيرة واضغط هذه البلورات معا . تعامل مع الناتج بحذر حيث ان هذا التركيب غير مستقر وشديد الانفجار .

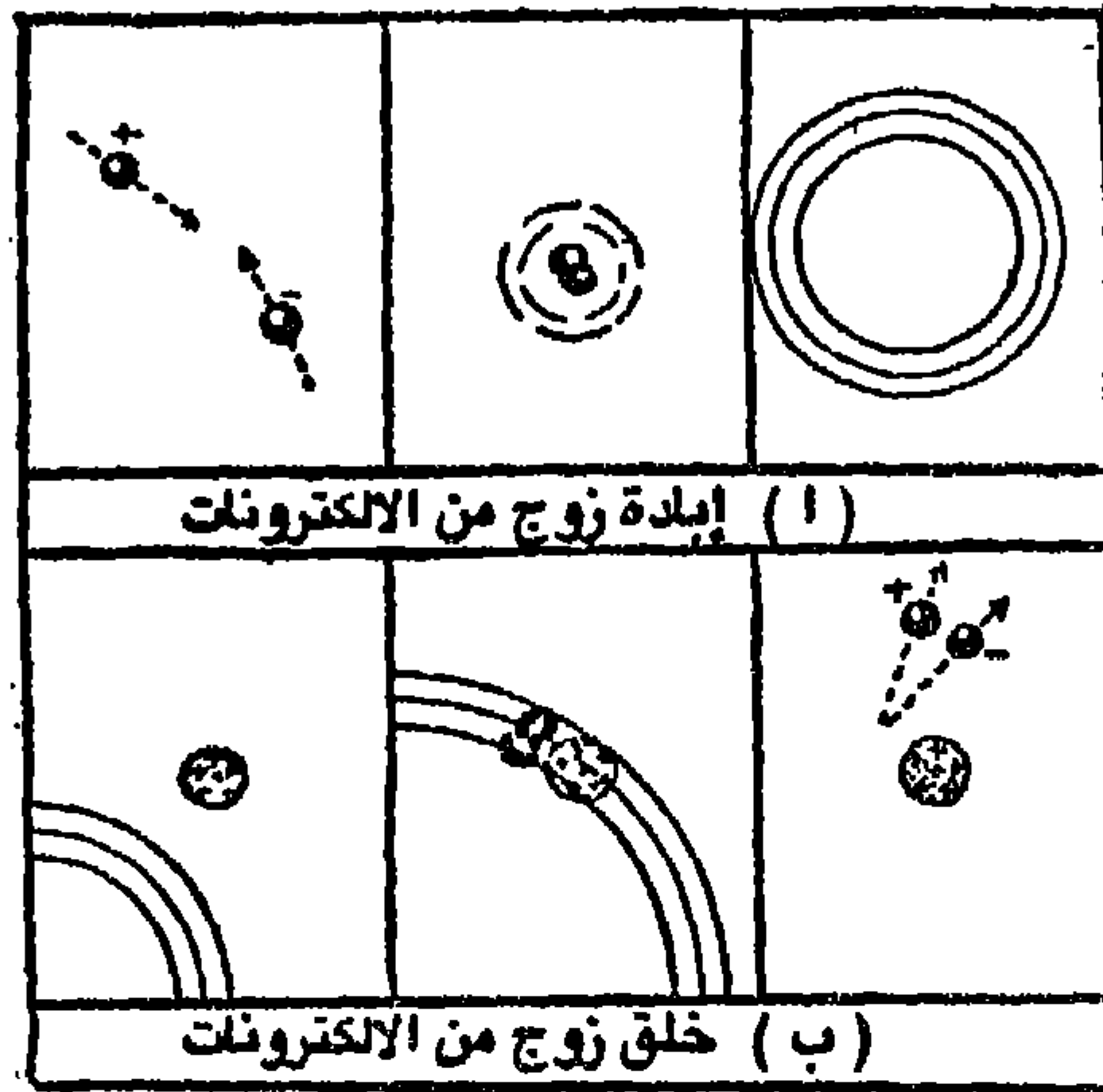
وعلى الرغم من أن النيوترونات والبروتونات السالبة هى الوحدات الضرورية فقط لبناء أى مادة نريد الحصول عليها كما أوضحنا . الا أن هذه القائمة من الجسيمات الأولية لا تزال غير مكتملة الى حد ما . والواقع أنه اذا كانت الالكترونات العادية تمثل الشحنات الكهربائية السالبة الحرة ، فلم لا يمكن أيضا أن نحصل على شحنات حرة موجبة الكهرباء ، أى :

الالكترونات الموجبة ؟

وأيضا اذا كانت النيوترونات التى من الواضح أنها تمثل الوحدة الأولية للمادة يمكن أن تكتسب شحنة كهربية موجبة ومن ثم تتحول الى بروتون فلم لا نحصل على نيوترونات سالبة كذلك ؟ .

والجواب أن الالكترونات الموجبة التى تتشابه تماما مع الالكترونات السالبة العادية ، الا فى العلامة الدالة على شحنتها ، توجد فى الطبيعة فعلا . كما أن هناك احتمالا معيناً لوجود البروتونات السالبة على الرغم من أن الفيزيائيين لم ينجحوا بعد اكتشافها . والسبب فى أن الالكترونات الموجبة والبروتونات السالبة (ان وجدت) غير متوافرة فى عالمنا الطبيعى بقدر توافر الالكترونات السالبة والبروتونات الموجبة يكمن فى أن هاتين المجموعتين من الجسيمات عدوتان لبعضهما البعض اذا جاز التعبير . وكل منا يعرف أن الشحنتين الكهربيتين اذا كانت احدهما موجبة والاخرى سالبة تلغى كل منهما الاخرى اذا وضعناهما معا . اذن حيث ان النوعين من الالكترونات لا يمثلان الا شحنتين حرتين احدهما موجبة والاخرى سالبة ، فلا ينبغى أن نتوقع وجودهما معا فى نفس الحيز من الفضاء . والحقيقة أنه ما أن يتقابل الكترون موجب مع آخر سالب حتى تفنى شحنتاهما ، ويختفى الجسيمن من الوجود . وهذا النوع من عمليات الابادة المتبادلة بين الكترونين يؤدي مع ذلك الى تولد اشعاع الكترومغناطيسى مكثف (أشعة جاما γ) ينطلق من نقطة التقابل حاملا معه الطاقة الأصلية للجسيمين المندثرين . ومن القوانين الأولية فى

الطبيعة أن الطاقة لا تفنى ولا تخلق من العدم ، وإنما نحن هنا بصدد مشاهدة التحول في الطاقة الالكتروستاتية للشحنات الكهربائية السالبة الى طاقة الكتروديناميكية ذات موجات مشعة . ويصف البروفيسور « بورن » (٤) الظاهرة الناتجة عن تقابل ألكترون موجب مع آخر سالب ب « الزواج العاصف » أو بتعبير أشد قسوة وصف بروفيسور براون (٥) هذا الحدث ب « الانتحار المتبادل » للالكترونين . وترى في شكل (٥٨ أ) رسماً تخطيطياً يعبر عن هذه المواجهة .



(شكل رقم ٥٨)

ان عملية « الابادة » لألكترونين مشحونين بشحنات مختلفة تجعل شبيها لها في عملية « ازدواج الجسيمات » ، والتي يولد فيها الكترون موجب وآخر سالب ظاهرياً من العدم ، نتيجة لاشعاع جاما القوى ونقول ظاهرياً من العدم حيث ان هذا الزوج المتولد حديثاً من الالكترونات انما يخرج الى حيز الوجود على حساب الطاقة التي توفرها أشعة جاما . والحقيقة أن كمية الطاقة التي يهبها اشعاع جاما لتكون هذا الزوج من الالكترونات يساوى بالضبط الطاقة المتحررة في عملية الابادة . ونجد في شكل (٥٨ ب) رسماً توضيحياً وعملية ازدواج الجسيمات التي تحدث في ظروف أفضل عندما يمر الشعاع الساقط بالقرب من نواة (٦) . وهنا لدينا مثال على ظهور شحنتين كهربيتين متضادتين على الرغم من

(٤) م . بورن الفيزياء الذرية (جى . اى ستيكوت وشركاه نيويورك ١٩٣٥) .

(٥) ت . ب براون الفيزياء الحديثة (جون ويل وأبنائهم نيويورك ١٩٤٠) .

(٦) على الرغم من أن تكون زوج من الالكترونات يتم أساساً في الفضاء الخالي تماماً إلا أن هذه العملية من ازدواج الجسيمات يساعد عليها وجود المجال الكهربى المحيط بالنواة .

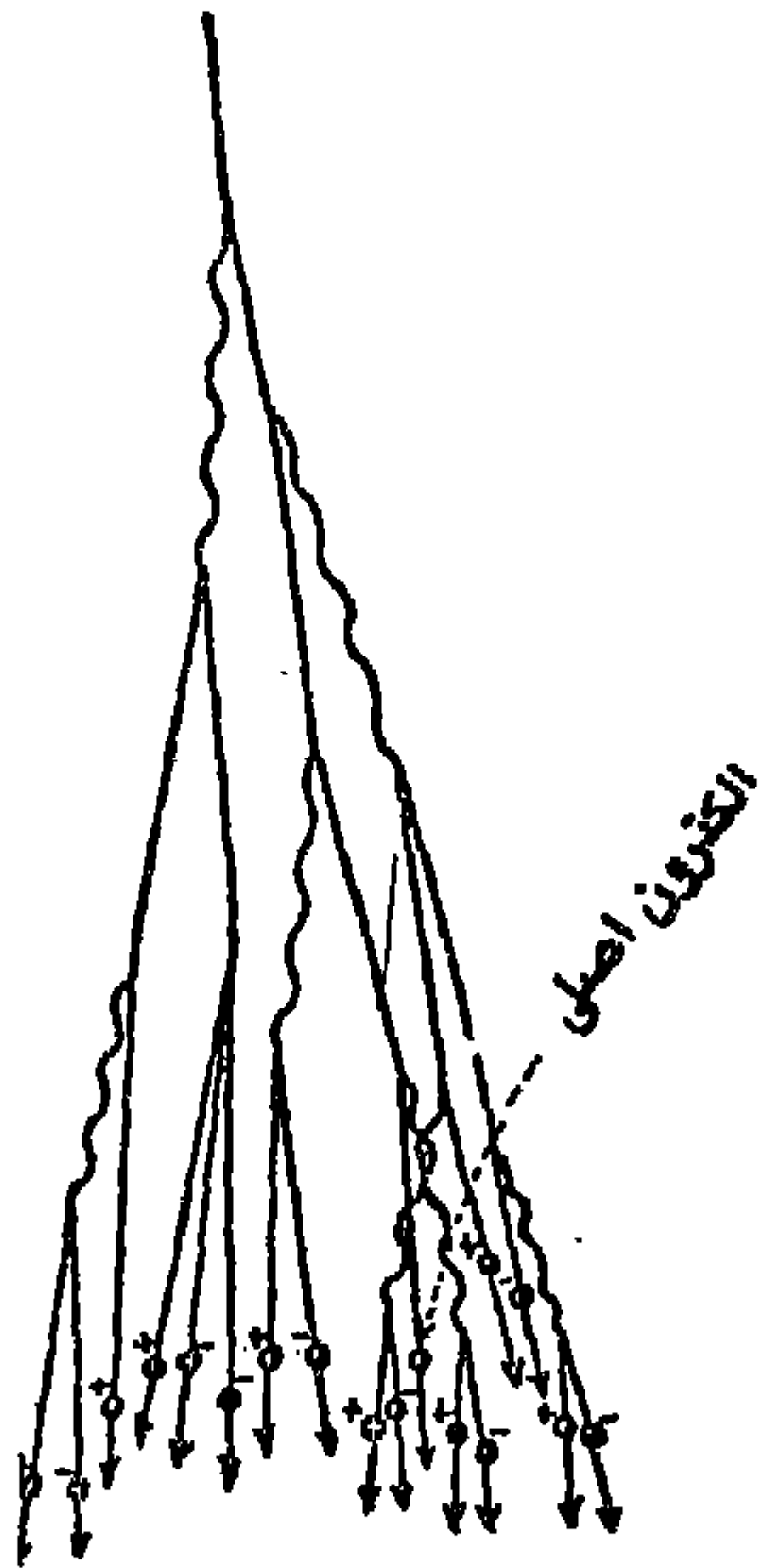
عدم وجود شحنة قبل ذلك اطلاقا وهى رغم ذلك عملية لا يجب ان تثير فينا الدهشة أكثر من التجارب العملية المألوفة التى يحدث فيها تولد شحنات كهربية موجبة عن طريق ذلك عصا الأبنوس بقطعة من الصوف فتتولد شحنة فى كليهما وبثوفر كمية كافية من الطاقة نستطيع ان ننتج أكبر عدد نريده من الشحنات السالبة والموجبة ، مع الاعتراف تماما بأن عملية الإبادلة المتبادلة سرعان ما تقضى عليها ثانية بحيث ترد كمية الطاقة المرسله أصلا « بالكامل » .

ومن الأمثلة المشوقة على انتاج أزواج الالكترونات بالجملة ظاهرة « رذاذ الأشعة الكونية » التى تحدث فى الأجواء الأرضية فى صورة تيارات من جسيمات عالية الطاقة تأتى إلينا من الفضاء الكونى ، وعلى الرغم من أن مصدر هذه التيارات المتقاطعة فى جميع اتجاهات الفراغ الكونى الشاسع لا يزال من الألغاز العلمية المستعصية (V) إلا أن لدينا فكرة واضحة الى حد ما عما يحدث عند اصطدام الالكترونات بسرعة مذهلة بالطبقات العليا للغلاف الجوى : فعند مرور هذه الالكترونات الأولية السريعة بالقرب من أنوية ذرات الغلاف الجوى تفقد شحنتها الأصلية تدريجيا وتتحول تلك الطاقة المفقودة الى أشعة جاما التى تنبعث بامتداد مسار الالكترونات (شكل ٥٩) . وتكون هذه الأشعة سببا فى بدء عمليات تكوين أزواج متعددة من الامكترونات السالبة والموجبة فى تسلك نفس طريق الجسيمات (الالكترونات) الأصلية . ولما كانت طاقة هذه الالكترونات الثانوية لا تزال عالية جدا فان اشعاع جاما يستمر فى الخروج مما يخلق أزواجا جديدة من الالكترونات . وهكذا يستمر تكاثرها بتكرار العملية طوال الطريق عبر الغلاف الجوى حتى تصل الالكترونات الأصلية الى مستوى سطح البحر مصحوبة بشلال من الالكترونات الثانوية نصفه موجب ونصفه سالب . ومن البدهى أن هذه الرخات الكونية يمكن أن تحدث عند اختراق الالكترونات السريعة

(V) والتفسير العادى ، والذي ربما كان أكثرها قبولا ، لأصل هذه الجسيمات عالية الطاقة التى تتحرك بسرعات تصل الى ٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩٩ فى المائة من سرعة الضوء إنما يكمن فى الافتراض بأن هذه السرعة ترجع الى فروق الجهد الكهربى العالية جدا بين السحب الترايبية والغازية العملاقة (الفيوم السديمية) التى تسبح فى الفضاء الكونى . والحقيقة أن المرء يمكنه أن يتوقع أن هذه السحب الكونية ستتراكم فيها الشحنات الكهربائية بشكل مشابه للسحب الراعدة فى هوائنا الجوى ، وأن فروق الجهد الكهربى التى تنشأ عن ذلك سوف تكون أعلى بكثير من تلك المسؤولة عن ظاهرة البرق الذى يبرق بين السحب أثناء الزواجم الرعدية .

للأجسام المادية الضخمة في سيرها فيحدث التضاعف بمعدل أعلى بكثير نتيجة ارتفاع الكثافة .

والآن سنبحث في امكانية وجود البروتونات السالبة ، وينبغي أن نتوقع أن هذا النوع من الجسيمات قد ينشأ نتيجة اكتساب النيوترون لشحنة سالبة أو فقد شحنة موجبة والأمر لا يختلف . ومن السهل أن نديم أن البروتونات السالبة تماثل الالكترونات الموجبة في عجزها عن التواجد لمدة طويلة جدا في أى مادة عادية . فهي ستجذب في الحال الى أقرب نواة ذرية مشحونة تستوعبها وستتحول الى نيوترونات بعد اختراق البناء النووي . اذن لو وجدت هذه البروتونات في الواقع - وهذا أمر يساعدنا على استكمال الجدول الحالى من الجسيمات الأولية - فسوف يكون اكتشافها من أصعب الأمور .



(شكل رقم ٥٩)

مصدر رذاذ الأشعة الكونية

ان اكتشاف الالكترونات الموجبة لم يتم الا بعد مرور نصف قرن تقريبا من معرفة العلم بالالكترونات السالبة . واذا افترضنا وجود هذه البروتونات السالبة ، فلنا أن نتصور وجود الذرات والجزيئات المعكوسة اذا جاز التعبير . فالذرات عبارة عن نيوترونات عادية وبروتونات سالبة

فلا بد اذن أن تكون محاطة بأغلفة من **الالكترونات الموجبة** وسوف يكون لهذه الذرات « المقلوبة » نفس خواص الذرات العادية ، ولن تجد اختلافا بين الماء المعكوس والماء العادى والزبد المعكوس والزبد العادى .

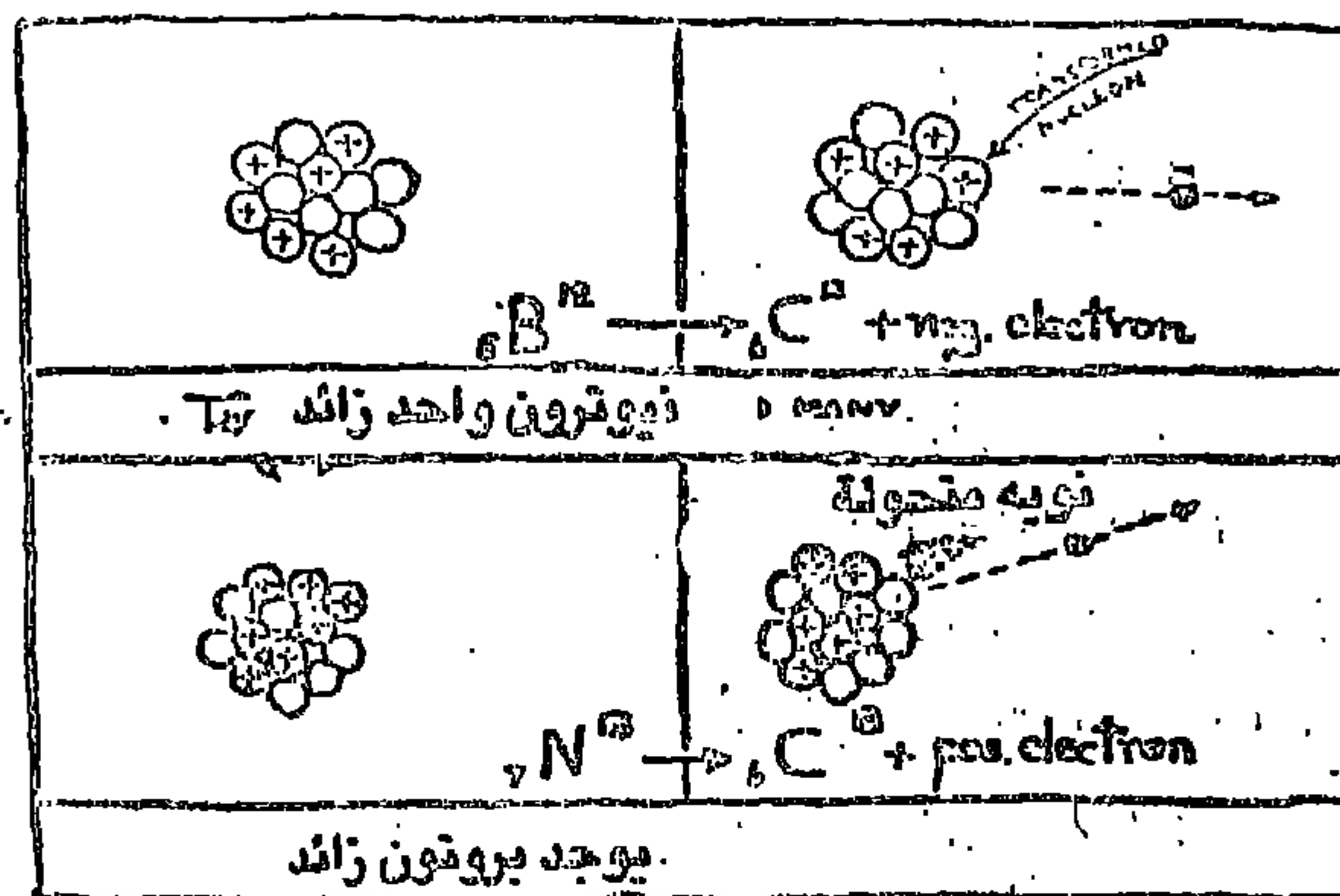
ولن تشعر بالفرق الا اذا وضعت مادة عادية بجانب مادة معكوسة ، فما أن تفعل ذلك حتى تحدث عمليات الابداء المتبادلة بين الالكترونات المتضادة الشحنة ، والأنوية الموجبة والسالبة قبل أن يرتد اليك طرفك وسينفجر الخليط انفجارا أعنف من القنبلة الذرية . وقصارى ما نعرف أنه قد توجد أنظمة نجمية غير نظامنا تتكون من هذه المواد المقلوبة ، واذا صح ذلك فان سقوط صخرة من نظامنا على نظام كهذا أو العكس سيؤدى بمجرد ارتطامها الى انفجار ذرى رهيب .

ونتوقف الآن عن هذه التأملات القريبة الى الخيال فى الذرة المقلوبة ونتجه الى دراسة نوع آخر من الجسيمات الأولية قد لا تقل عن تلك غرابة ، وهى تشارك فعلا فى كثير من العمليات الفيزيائية ، ويطلق عليها اسم نويترينو **neutrino** . وهذه الجسيمات دخلت الى علم الفيزياء من الباب الخلفى وأصبحت الآن تحتل منزلة كبيرة (ثابتة) فى عائلة الجسيمات الأولية رغم أنف المعارضة الغوغائية التى شككت فى امكانية وجودها . وتعنبر قصة اكتشافها والتعرف على خواصها من أغرب قصص الاثارة البوليسية فى علوم عصرنا .

وقد اكتشفت وجود النويترينو بطريقة يسميها الرياضيون « نقض النقيض » (*) فقد بدأ هذا الاكتشاف المثير ليس بناء على وجود شيء ما ، ولكن بالأحرى اكتشاف عدم وجوده ، وكانت الطاقة هى ذلك الشيء المفقود . ولما كانت الطاقة وفقا لأحد أقدم وأرسخ قوانين الفيزياء لا تفنى ولا تخلق من العدم . وباكتشاف أن الطاقة التى كان يجب وجودها غائبة فقد دل على ذلك حتمية وجود لص ما أو عصابة من اللصوص استولت على هذه الطاقة . ولما كانت العقلية البوليسية العلمية مرتبة وتميل الى وضع أسماء للأشياء حتى ما لا نستطيع أن نراه منها فقد أطلقوا على لصوص الطاقة « النويترينات » ولكن هذه مرحلة متقدمة من القصة فبالرجوع الى وقائع « قضية سرقة الطاقة » نجد كما رأينا من قبل أن أنوية الذرات تتكون من نويات نصـفـها تقريبا متعادل الشحنة « النيوترونات » والباقى منها شحنة موجبة ، فاذا اختل التوازن بين العدد

(*) برهنة القضية باثبات فساد نقيضها .

النسبي للنيوترونات والبروتونات في نواة الذرة باضافة نيوترون أو بروتون جديد أو أكثر (٨) ، فلا بد من حدوث تعديل كهربى . فإذا كان عدد النيوترونات أكبر من اللازم تحول بعضها الى بروتونات بطرد إلكترون سالب . وإذا كان عدد البروتونات أكبر تحول بعضها الى نيوترونات بطرد إلكترون موجب . وتجد في شكل (٦٠) رسما يوضح هذه العملية ، وتعرف باسم « انحلال بيتا » . أما الإلكترونات المطرودة فتعرف باسم جسيمات بيتا (B) .



(شكل رقم ٦٠)

نظام انحلال بيتا الموجب والسالب (سهولة العرض قفنا برسم جميع النويات في مستوى واحد) .

ولما كان التحول الداخلى فى النواة عملية دقيقة ومحددة للغاية بحيث تكون الطاقة الناتجة عنها محملة على الإلكترون المطرود فطبيعى أن نتوقع خروج إلكترونات أو جسيمات B من أى مادة بنفس السرعة . ولكن الملاحظات التى تمت على عملية انحلال بيتا تتعارض تماما مع هذا التوقع . فقد وجد أن الإلكترونات المنطلقة من مادة ما تتراوح طاقتها الحركية من الصفر الى حد أقصى معين . ولم يكتشفوا أى جسيمات أو اشعاع آخر يكون مسئولاً عن هذا الاختلاف فى الطاقة ، فأصبحت عملية انحلال بيتا هامة للغاية . فاعتقدوا لفترة معينة أن هذا أول دليل تجريبى على فشل قانون « ثبات الطاقة » الشهير ، وهو ما يعنى كارثة تنزل بالبناء المحكم للنظرية الفيزيائية . وبقي احتمال أو امكانية أخيرة فربما كانت الطاقة المفقودة قد امتصها نوع جديد من الجسيمات وأنها تفلت دون أن

(٨) ويمكن القيام بذلك عن طريق القذف النووى الذى تجده فيما بعد فى نفس

تقدر على رصدها بأي وسيلة من وسائل الرصد أو الملاحظة . وفكر « باولي » في أن « أرسين لوبين » الطاقة هو جسيمات مفترضة هي النيوترينات ، وهي غير مشحونة ولا تزيد كتلتها على كتلة الإلكترون العادي . والواقع أنه من المعروف يقينا بالنسبة للتفاعل بين الجسيمات السريعة والمادة أى الجسيمات غير المشحونة والخفيفة لا يمكن الاستدلال على وجودها بأي جهاز فيزيائي معروف ، وانها قد تخترق دون أى صعوبة طبقات سميكة جدا من المادة . لذا ففي حين أن الضوء المرئي يمكن حجبها تماما باستخدام شريحة معدنية رقيقة جدا ، وكذا تحتاج أشعة اكس العالية النفاذية وأشعة جاما أيضا الى طبقة من الرصاص بسماك عدة بوصات للحد من كثافتها الى درجة كبيرة نجد أن حزمة من النيوترينات يمكنها المرور دون صعوبة كبيرة من طبقة رصاص يبلغ سمكها عدة ملايين من السنين الضوئية !! فلا عجب اذن أنها تفلت من أى ملاحظة ولا يستدل عليها الا من نفص الطاقة الناتج من هروبها .

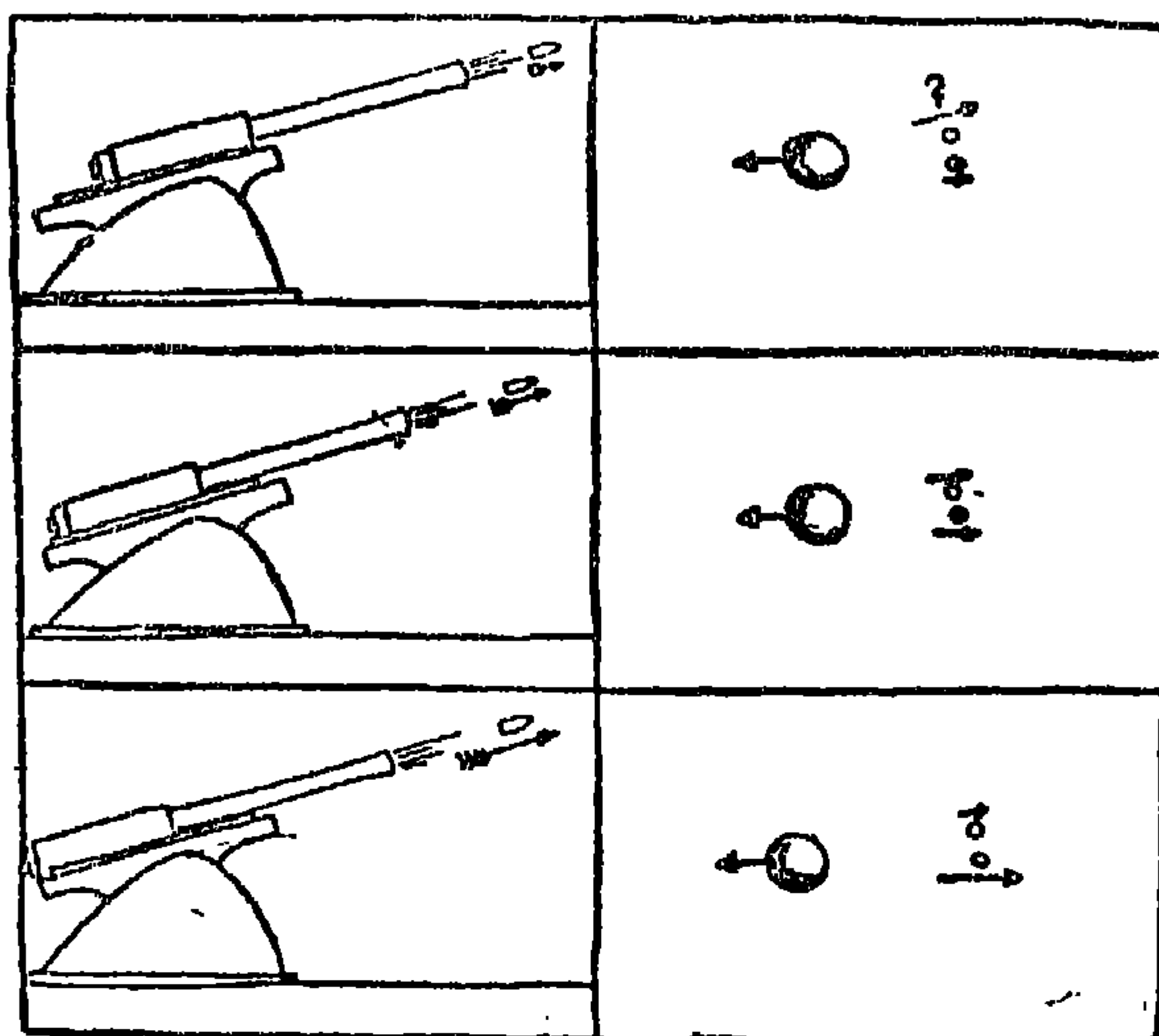
ولكن على الرغم من استحالة الامساك بهذه النيوترينات طالما أنها قد غادرت النواة ، الا أن هناك وسيلة لدراسة الآثار الثانوية المترتبة على مغادرتها . فعندما تطلق بندقية فانها تحدث رد فعل على كتفك ، ويتراجع المدفع على حامله بعد اطلاقه لقذيفة ثقيلة . وينتظر حدوث نفس أثر الارتداد الميكانيكى من النواة الذرية التى تنطلق منها الجسيمات السريعة ، والواقع أنه لوحظ أن النواة التى تتعرض لانحلال بيتا تكتسب دائما سرعة فى اتجاه مضاد لحركة الإلكترون المنطلق . وتكمن غرابة الارتداد النووى فى أن سرعة الإلكترون لا تؤثر على سرعة ارتداد النواة اذ تظل ثابتة فى كل الحالات (شكل ٦١) ويبدو هذا غريبا جدا اذ أنه من الطبيعى أن نتوقع أن المقذوف السريع يحدث رد فعل أقوى على الكتف من المقذوف البطيء . ويكمن حل هذا اللغز فى أن النواة تطلق دائما مع الإلكترونات نيوترينات تحمل ما تبقى من الطاقة التى يستهلكها الإلكترون فاذا خرج الإلكترون بسرعة عالية مستهلكا أغلب الطاقة المتاحة ، انطلقت نيوترينات بسرعة بطيئة والعكس بالعكس . لذا فان الارتداد الملاحظ يكون ثابتا دائما نتيجة للأثر المزدوج لكلا الجسيمين . وكفى بهذا دليلا على وجود النيوترين !

والآن بمقدورنا أن نجمل نتائج المناقشة السابقة ونقدم قائمة كاملة للجسيمات الأولية التى تدخل فى بنية الكون ، والعلاقة القائمة بينها .

ولنبدا أولا بالنوية : التى تعتبر الجسيم الأول للمادة . وهى بقدر معرفتنا حتى الآن متعادلة أو موجبة الشحنة مع احتمال أن تكون هناك نويات سالبة الشحنة .

ثم تأتي للالكترونات : وهى الشحنات الحرة السالبة أو الموجبة كهربيا . وهناك أيضا هذه النويترينات الغامضة التى لا تحمل أى شحنة ويفترض أنها أخف وزنا من الالكترونات بكثير (٩) .

وفى النهاية توجد الموجات الكهرومغناطيسية المسئولة عن انتشار القوى الكهربائية والمغناطيسية فى الفضاء الخالى .



(شكل رقم ٦١)

مشكلة الارتداد فى المدفعية والفيزياء النووية .

وجميع هذه المكونات الرئيسية فى العالم الطبيعى مستقلة عن بعضها ويمكن أن تجتمع معا فى صور مختلفة . ولذا يمكن للنيوترون أن يتحول الى بروتون بطرد الكترون سالب ونويترين (نيوترون ← بروتون + الكترون سالب + نويترينو) ، ويمكن للبروتون أن يعود نيوترونا بطرد الكترون موجب ونويترين (بروتون ← نيوترون + الكترون موجب + نويترينو) . ويمكن تحول الكترونين متضادين فى الشحنة الى اشعاع كهرومغناطيسى . (الكترون موجب + الكترون سالب ← اشعاع) أو بالعكس يمكن أن ينتج الالكترونات عن الاشعاع (اشعاع ← الكترون موجب + الكترون سالب) . وأخيرا يمكن للنويترينات أن تتحد مع الالكترونات مكونة وحدات ثابتة يمكن ملاحظتها فى الأشعة الكونية المعروفة بالميزون أو التى تسمى خطأ بـ «الالكترون الثقيل» (نويترينو +

(٩) وتشير آخر الأدلة التجريبية فى هذا المجال الى أن النويترين لا يزيد وزنه على

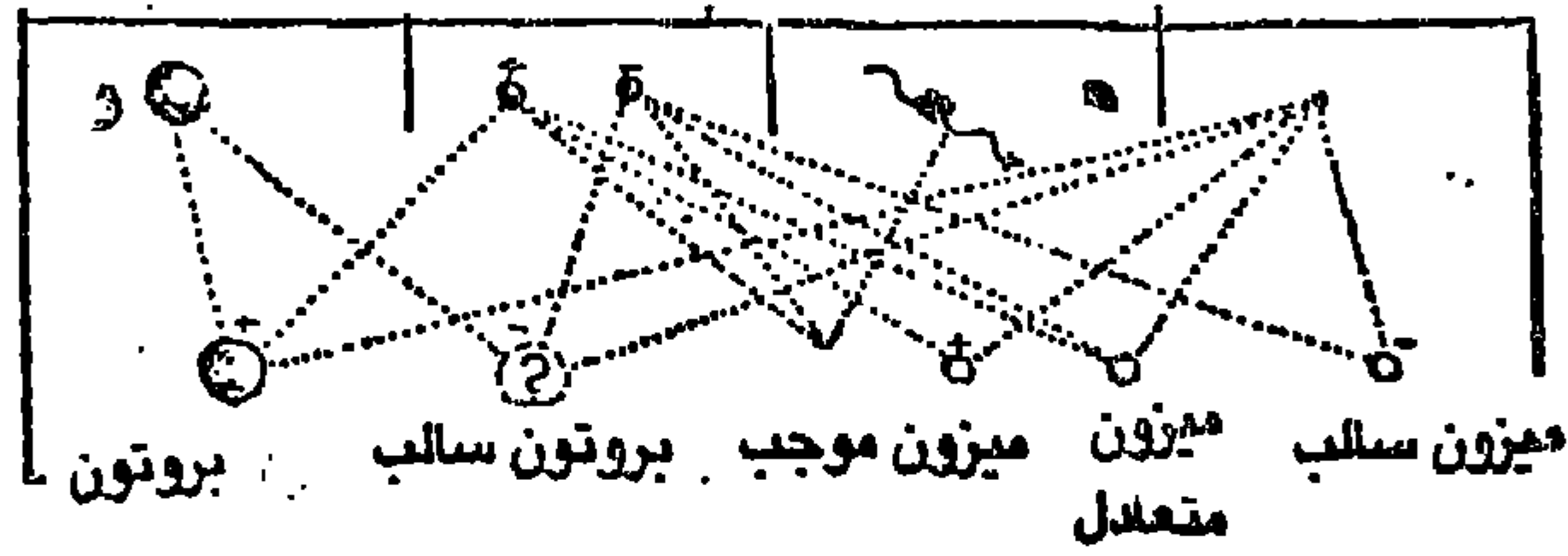
$\frac{1}{10}$ من ثقل الالكترون .

الكترن موجب ← ميزون موجب ، أو : نيوترون + الكترن سالب ←
 ميزون سالب أو نويترين + الكترن موجب + الكترن سالب ←
 ميزون متعادل (واتحاد النويترينات والالكترونات يحمل طاقة هائلة
 بحيث يكون أثقل بمائة مرة من كتلتها معا أصلا .

وفي شكل (٦٢) ترى بيانا مرسوما للجسيمات الأولية المشتركة
 في بنية الكون .

اشعاع

النويترينو الغامض | اشعاع الكترنومغناطيسى | شحنات كهربائية حرة | الجسيم الاساسى للمادة .
 (كم الجاذبية) | (كم الاشعاع) | (الكترونات) | (نيوترون)



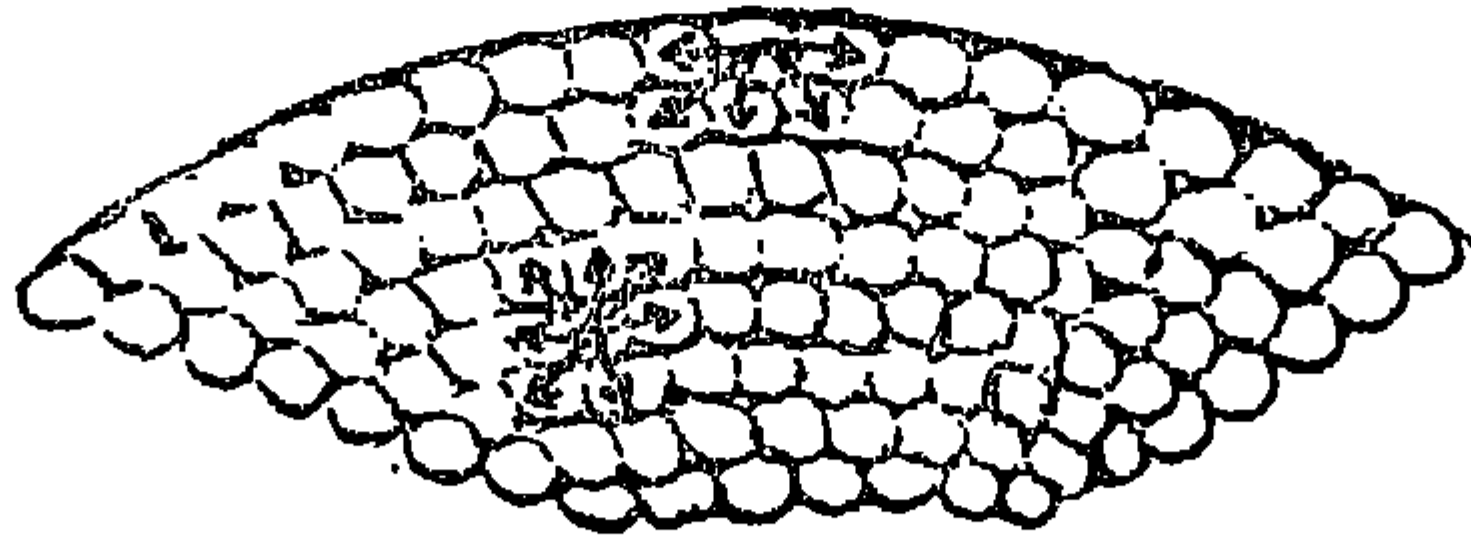
(شكل رقم ٦٢)

بيان بالجسيمات الأولية في الفيزياء الحديثة وتوليقاتها .

وربما تسأل هل هذه هي النهاية ؟ فبأى حق نفترض أن النويات
 والالكترونات والنويترينات هي حقا جسيمات أولية لا يمكن تقسيمها
 الى وحدات أصغر ؟ ألم يفترض منذ قرن واحد فقط أن الذرة لا تنقسم ؟
 ومع ذلك فما أعقد صورة الذرة الآن ! والجواب أنه رغم عدم امكانية
 التنبؤ بما قد يطرأ من تطور على العلم بطبيعة الحال ، الا أن لدينا الآن
 أسبابا أقوى تدفعنا الى الاعتقاد بأن جسيماتنا الأولية هي بالفعل الوحدات
 الأولية ولا يمكن أن تنقسم أكثر من ذلك . فالذرة التي زعم العلماء في
 الماضي أنها غير قابلة للانقسام كان معروفا عنها نسب هؤلاء العلماء لها
 خواصا متعددة كيميائية وبصرية في حين أن خواص الجسيمات الأولية في
 الفيزياء الحديثة بسيطة للغاية والحق أنها تشببه في بساطتها النقاط
 الهندسية . وبدلا من العدد الكبير « للذرات غير القابلة للانقسام » في
 الفيزياء القديمة لدينا ثلاثة مكونات مختلفة جوهريا : النويات ،
 والالكترونات والنويترينات ، ومهما كان الجهد والرغبة الملحة في تحويل
 كل شيء الى ما هو أبسط منه فانك لا تستطيع أن تحول شيئا الى لا شيء .
 ولذا يبدو أننا قد اصطدمنا بالقاع في بحثنا عن الوحدات الأولية للمادة .

والآن بعد أن تعرفنا تماما على طبيعة الجسيمات الأولية وخواصها ، ولا سيما تلك التى تدخل فى بنية الذرة ، نستطيع الانتقال الى دراسة أكثر تفصيلا للنواة وهى قلب الذرة . وفى حين أن البناء الخارجى للذرة يمكن تشبيهه الى حد ما بالنظام الكوكبى الدقيق ، فإن نواة الذرة تختلف تماما عن هذه الصورة . وواضح قبل أى شئ أن القوى التى تحفظ الذرة تماسكها ليست ذات طبيعة كهربية بحتة إذ أن النيوترونات لا تحمل أى شحنة كهربية ، والنصف الآخر وهو البروتونات موجب الشحنة يتنافر مع بعضه . ولن نجد مجموعة أخرى من الجسيمات المتماسكة كل ما يجمعها هو التنافر ! .

ولذا حتى نفهم السبب فى اتحاد مكونات النواة مع بعضها ينبغى علينا أن نفترض أنه من بين القوى الموجودة هناك قوى أخرى جاذبة تعمل فى النويات غير المشحونة كما تعمل فى النويات المشحونة . ومثل هذه القوى التى تعمل على بقاء الجسيمات مع بعضها بغض النظر عن طبيعتها يطلق عليها « قوى التماسك » ، وتوجد على سبيل المثال فى السوائل العادية حيث تمنع الجزيئات المنفصلة من الانتشار فى جميع الاتجاهات . وتوجد فى نواة الذرة قوى شبيهة بالقوى السابقة وتعمل بين النويات المنفصلة لتمنع النواة من التفسخ تحت تأثير التنافر الكهربى بين البروتونات . وهكذا فعلى النقيض من الجسم الخارجى للذرة حيث يكون بين الإلكترونات المكونة للأغلفة الذرية العديدة مساحة فضائية كبيرة تتحرك فيها ، نجد أن النواة هى أشبه بعلبة تحتشد فيها كميات كبيرة من النويات كما فى علبة السردين . وكما أشرنا من قبل يمكننا أن نفترض أن مادة نواة الذرة تشبه السوائل العادية فى الخطوط العريضة للتركيب وكما نجد ظاهرة التوتر السطحي فى حالة السوائل العادية نجدها أيضا فى النواة .



(شكل رقم ٦٣)

ايضاح لظاهرة قوى الشد السطحي فى السوائل

وربما نذكر أن السبب في التوتر السطحي للسوائل يعود الى أن
الجسيمات بداخلها تتنازعها قوى الجذب في جميع الاتجاهات بنفس
القدر .

أما الجسيمات السطحية فتجذبها تلك القوى الى الداخل :
(شكل ٦٣) ، ويؤدي هذا الى ميل أى قطرة سائل لا تخضع لقوى خارجية
الى اكتساب شكل كروي اذ أن الكرة هي الشكل الهندسي الذي
يمتلك أقل مساحة سطح ممكنة لأي حجم (*) . وهكذا نجد أنفسنا
منساقين الى استنتاج أن فواة الذرة للعناصر المختلفة يمكن اعتبارها
ببساطة قطرات مختلفة الحجم في « سائل نووي » كوني . ويجب ألا ننسى
مع ذلك أن السائل النووي على الرغم من أنه يشبه السائل العادي نوعيا
الا أنه يختلف عنه في الخواص والواقع أن كثافته تزيد على كثافة الماء
بمعامل قدره 2.4×10^{14} وتزيد قوى التوتر السطحي فيه عنها في الماء
بحوالى 10^{10} مرة . وحتى يتسنى لنا فهم هذا الرقم الهائل دعونا ندرس
المثال التالي . وافترض أن لدينا اطارا من السلك يشبه حرف U
مقلوبا كما في شكل ٦٤ وتتقاطع مع الحرف قطعة مستقيمة من السلك
وطبقة من الصابون تغطي الشكل الرباعي الناشئ . وسوف تعمل قوى
التوتر السطحي للصابون على جذب الساق المعدنية لأعلى ويمكن معادلة
هذه القوى بتعليق ثقل خفيف على الساق المعدنية فان كانت الطبقة
مكونة من ماء عاد مذاق فيه قدر من الصابون وذات سمك يبلغ حوالى
 10^{-1} مم ، سيكون وزنها حوالى $\frac{1}{4}$ جم وسوف تحمل وزنا اجماليا قدره
حوالى $\frac{3}{4}$ جم .

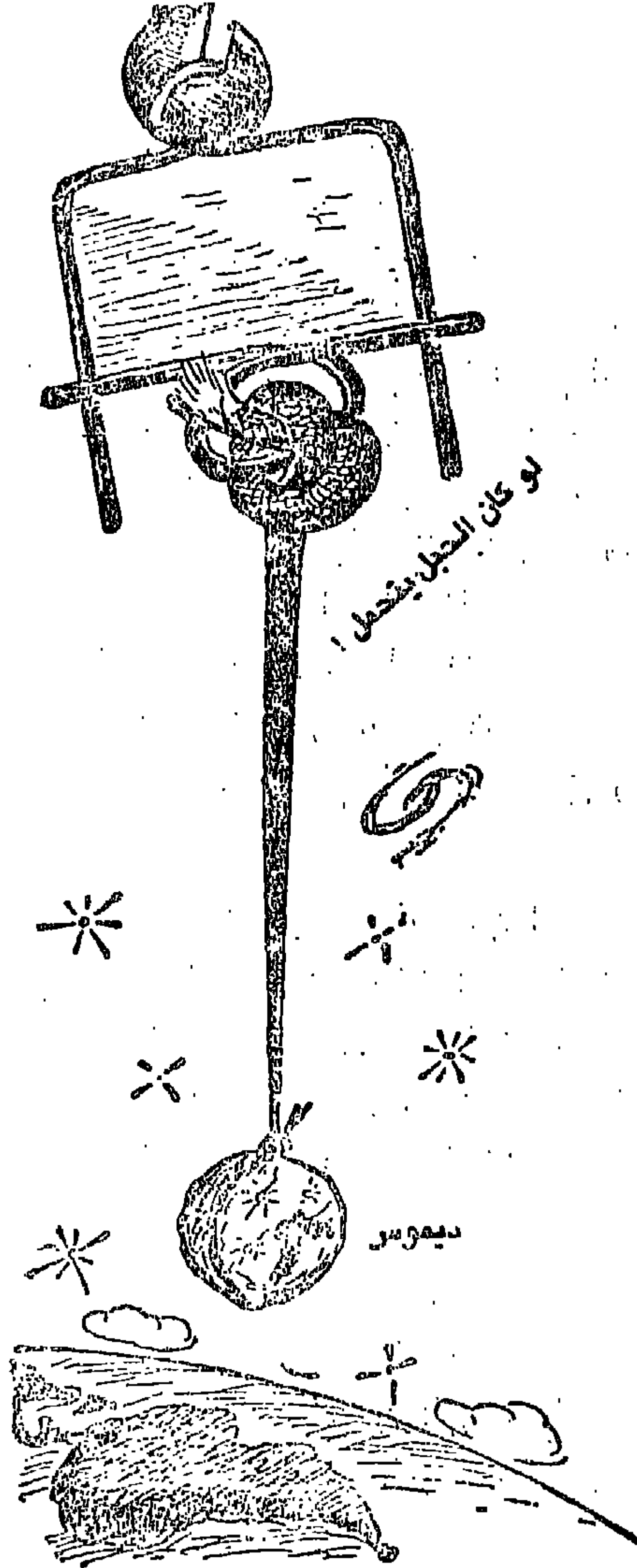
والآن اذا أمكن الحصول على طبقة مماثلة من السائل النووي سيكون
اجمالى وزن هذه الطبقة ٥٠ مليون طن (وزن ألف عابرة محيطات تقريبا)
ويمكننا أن نعلق على السلك المستعرض حمولة تزن سنتليون (10^{12})
طن ، وهذه تعادل تقريبا كتلة « ديموس » ثانى أقمار كوكب المريخ !
والمرء يحتاج الى رئين جبارتين لكى يصنع بالنفخ فقاعتين من السائل
النووي !

واذا اعتبرنا نواة الذرة مكونة من قطرات صغيرة من السائل النووي
فلا يجب أن نهمل حقيقة هامة وهى أن هذه القطيرات مشحونة كهربيا
حيث ان حوالى نصف جسيمات النواة من البروتونات . وتعادل قوى
التوتر السطحي التى تعمل على تماسك النواة كجزء واحد قوى التنافر

(*) أى أن المكعب أو المنشور أو غيرها تكون مساحة سطوحها دائما أكبر من مساحة
سطح كرة من نفس الحجم (المترجم) .

الكهربى التى تعمل بين مكوناتها وتجاول تمزيقها الى جزأين أو أكثر .
وهنا يكمن السبب الرئيسى فى عدم استقرار نواة الذرة فاذا سيطرت
قوى التوتر السطحي عليها فانها لا تنحل تلقائيا أبدا ، بل وتميل النواتان
المقربتان من بعضهما الى الاندماج كما يحدث تماما لفطيرتين عاديتين .

وعلى العكس ، اذا كانت اليد العليا فى النواة لقوى التنافر الكهربى



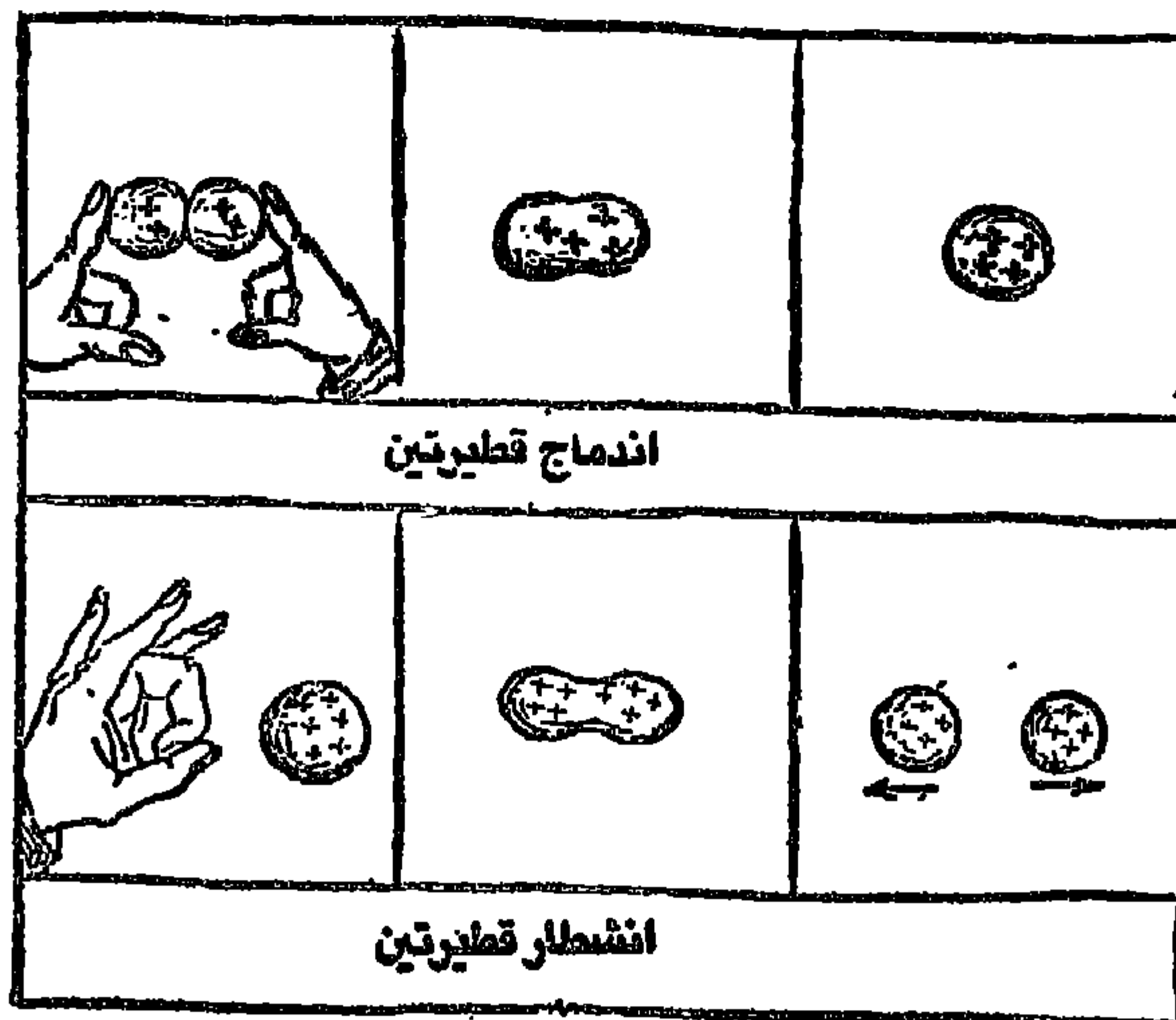
(شكل رقم ٦٤)

أظهرت هذه النواة ميلا الى الانقسام تلقائيا الى جزأين أو أكثر وتطير هذه الأجزاء بعيدا عن بعضها بسرعة عالية ، ويطلق على هذه العملية عادة مصطلح « الانشطار النووي » .

وقد أجرى « بوهر » و « هويلر » في عام ١٩٣٩ حسابات دقيقة للتوازن بين القوى الكهربائية وقوى التوتر السطحي في عناصر مختلفة وأدى ذلك الى نتيجة بالغة الأهمية وهي :

ان قوى التوتر السطحي في النواة تكون لها اليد العليا في النصف الأول من الجدول الدوري (حتى عنصر الفضة تقريبا) ، ثم تسود قوى التنافر الكهربى على كل الأنوية الأثقل من ذلك . وبالتالي تكون نواة أى عنصر أثقل من الفضة غير مستقرة أساسا وهي تنقسم الى جزأين أو أكثر تحت تأثير قوى خارجية كافية ، فيؤدى ذلك الى تحرر كمية كبيرة من الطاقة الداخلية للنواة (شكل ٦٥ أ) . وعلى النقيض من ذلك لابد وأن تتوقع حدوث عملية اندماج بين نواتين خفيفتين (أقل من عنصر الفضة عندما تقتربان من بعضهما (شكل ٦٥ ب) .

ومع ذلك يجب أن نتذكر أن الاندماج بين نواتين خفيفتين أو انشطار الأنوية الثقيلة لا يحدث بالطبيعة مالم نفعل شيئا يساعد على ذلك . والواقع أن حدوث الاندماج يستلزم تقريب النواتين من بعضهما ضد قوى التنافر بين شحنتيهما ، وحتى يحدث الانشطار النووي في نواة عنصر ثقيل لابد من أن يبدأ ذلك باحداث ذبذبة سمعتها كبيرة جدا عن طريق توجيه ضربة قوية الى النواة .



(شكل رقم ٦٥)

وهذا النوع من الحالات التى لا تبدأ فيها عملية ما الا تحت وطأة استشارة مبدئية تعرف فى العلوم بـ « حالات الاستقرار المتغير » . ويمكن ايضا حه بأمثلة مثل الصخرة الموجودة على حافة هاوية أو غلبسة الثقب الموضوعه فى جيبك ، أو شحنة تى.ان.تى. فى قنبلة ، وفى كل حالة هناك كمية كبيرة من الطاقة تنتظر أن تتحرر . ولكن الصخرة لن تنحدر الا اذا دفعت من الخلف ، والثقب لن يشتعل الا اذا أدى احتكاكه مع جسمك الى رفع درجة حرارته ، كما أن مادة تى.ان.تى لن تنفجر الا بتوصيلها بفيتيل . وإذا كنا نعيش فى عالم كل شىء فيه عمليا قابل للانفجار النووى — باستثناء العملات الفضية (١٠) — فان ذلك يرجع الى الصعوبة الشديدة لبدء عملية التفاعل النووى ، أو بعبارة علمية أكثر دقة « الطاقات التنشيطية الرهيبة التى تتطلبها التحولات النووية » .

ونحن بالنسبة للطاقة النووية نعيش (أو قل عشنا حتى عهد قريب) فى عالم شبيه بعالم رجل الاسكيمو الذى يسكن أرضا درجة حرارتها أقل من درجة التجمد ، فهو لا يعرف صلبا الا الثلج ولا سائلا الا الكحول. فمثل هذا الاسكيمو لم يسمع أبدا عن النار فهو لن يحصل على نار أبدا بذلك قطعتين من الثلج معا ، كما أن الكحول بالنسبة له ليس الا مشروبا لطيفا ، فهو لن يستطيع أن يرفع حرارته الى درجة الاشتعال .

وما أشبه الحيرة العظيمة التى انتابت الانسان عندما اكتشف عملية تحرر الطاقة الكامنة داخل الذرة على نطاق كبير ، بدهشة صاحبنا رجل الاسكيمو عندما شاهد أول موقد كحولى .

وما أن يتم التغلب على مشكلة بدء التفاعل النووى حتى تعوض النتائج كل المتاعب التى تضمنها ذلك . ولناخذ خليطا من كميات متساوية من ذرات الاكسجين والكربون مثلا ، بحيث يكونان متحدين وفقا للمعادلة الآتية :



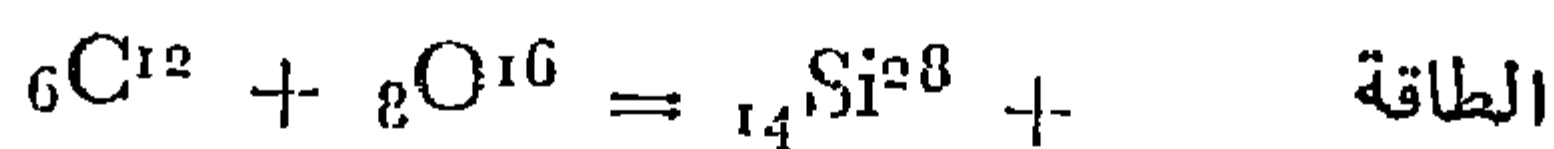
وسوف تعطينا هذه العناصر ٩٢٠ سعرا (١١) لكل جرام من الخليط وبديلا من الاتحاد الكيميائى العادى (اندماج الجزيئات) (شكل ٦٦ أ)

(١٠) تذكر أن نواة الفضة لا تنشط ولا تندمج .

(١١) السعر هو وحدة حرارية تعرف بأنها الطاقة اللازمة لرفع درجة جرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة .

(*) أ + ك ← ك + أ + طاقة

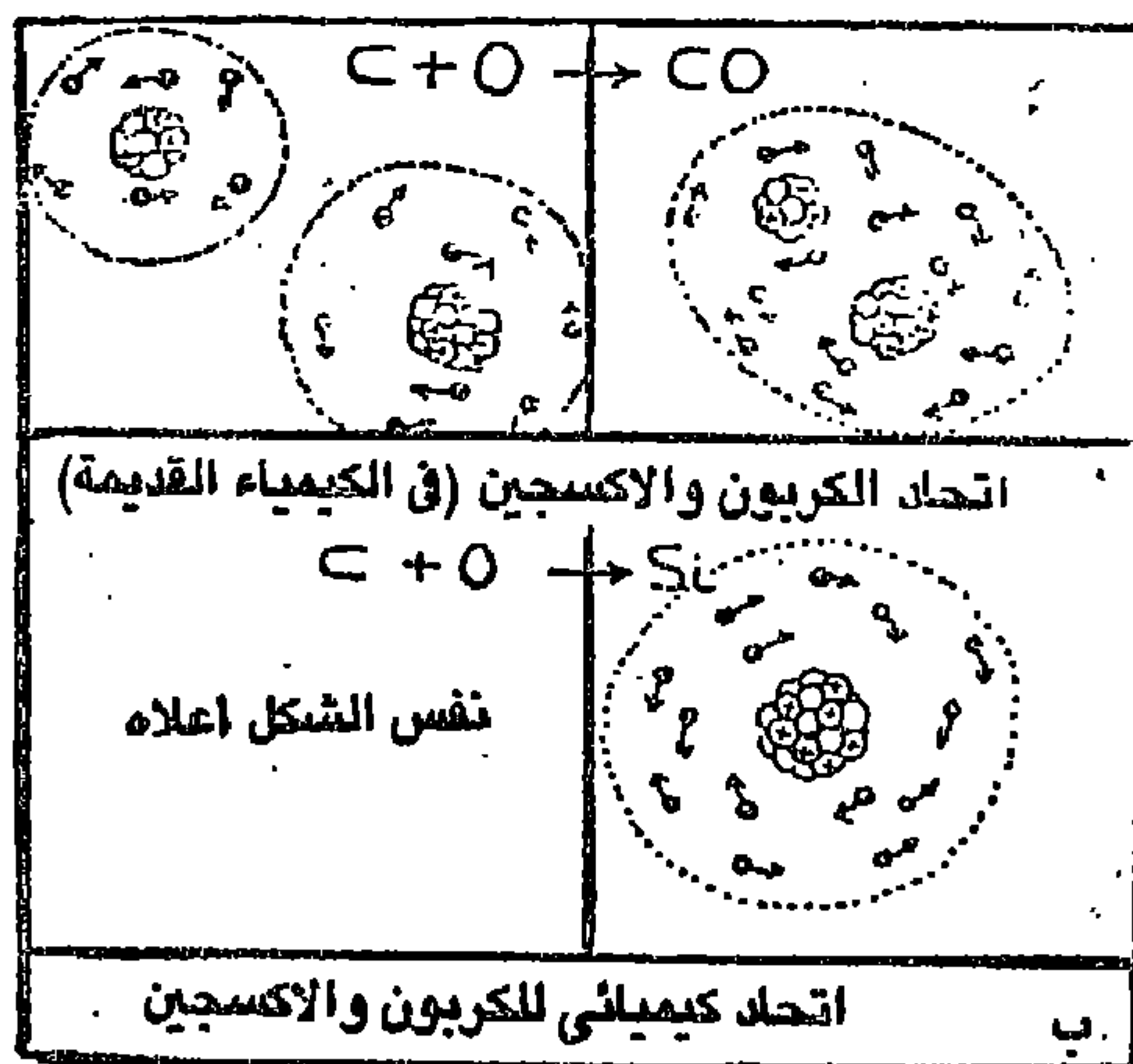
بين هذين النوعين من الذرات ، يحدث اتحاد كيميائي جديد (اندماج نووى) بين نواتين (شكل ٦٦ ب) .



فتصبح الطاقة المتحررة = 1.4×10^9 سعرا عن كل جرام من الحليط أى ١٥ مليون ضعف للطاقة السابقة .

وبالمثل فان تكسير جزيء من مادة تى . ان . تى المعقدة الى جزيئات ماء ، وأول أكسيد الكربون ، وثانى أكسيد الكربون ، والنيتروجين (انشطار جزيئى) يحرر طاقة مقدارها ١٠٠٠ سعر لكل جرام ، فى حين أن نفس الوزن من الزئبق مثلا يعطى طاقة اجمالية قدرها ١٠١٠ سعرات فى عملية الانشطار النووى .

ولا تنسى أيضا أن أغلب التفاعلات الكيميائية لا تحدث بسهولة الا عند حرارة قد تصل الى عدة مئات أما التحولات النووية فلا يمكن حتى أن تبدأ الا بعد الوصول الى درجات تقدر بالملايين ! . فاطمئن لأن صعوبة بدء التفاعل النووى تضمن عدم وجود خطر مباشر قد يحول الكون كله الى فضاء خالصة عقب انفجار مروع .



(شكل رقم ٦٦)

٣ - تحطيم الذرة :

على الرغم من أن تكامل الأوزان الذرية يعتبر حجة قوية فى صالح تعقد أنوية الذرات ، الا أن البرهان النهائى على ذلك لا سبيل اليه الا بالدليل التجريبي المباشر على امكانية انقسام النواة الى جزأين أو أكثر .

وفي أواخر القرن الماضي ظهر أول دليل على امكانية حدوث هذا الانحلال في النواة على يد « بيكريل » عند اكتشافه للنشاط الاشعاعي . فقد اتضح في الواقع أن هذا الاشعاع عالي النفاذية (شبيه بأشعة اكس العادية) ، ينطلق تلقائيا من ذرات بعض العناصر كاليورانيوم والثوريوم الواقعان في آخر الجدول الدوري نتيجة للانحلال التلقائي لهذه الذرات . وسرعان ما أدت الدراسة التجريبية الواعية لهذه الظاهرة المكتشفة حديثا الى استنتاج أن انحلال الأنوية الثقيلة يعتمد على انحلالها التلقائي الى جزئين غير متساويين :

١ - جزء صغير يعرف بجسيم ألفا وهو نواة ذرة الهليوم .

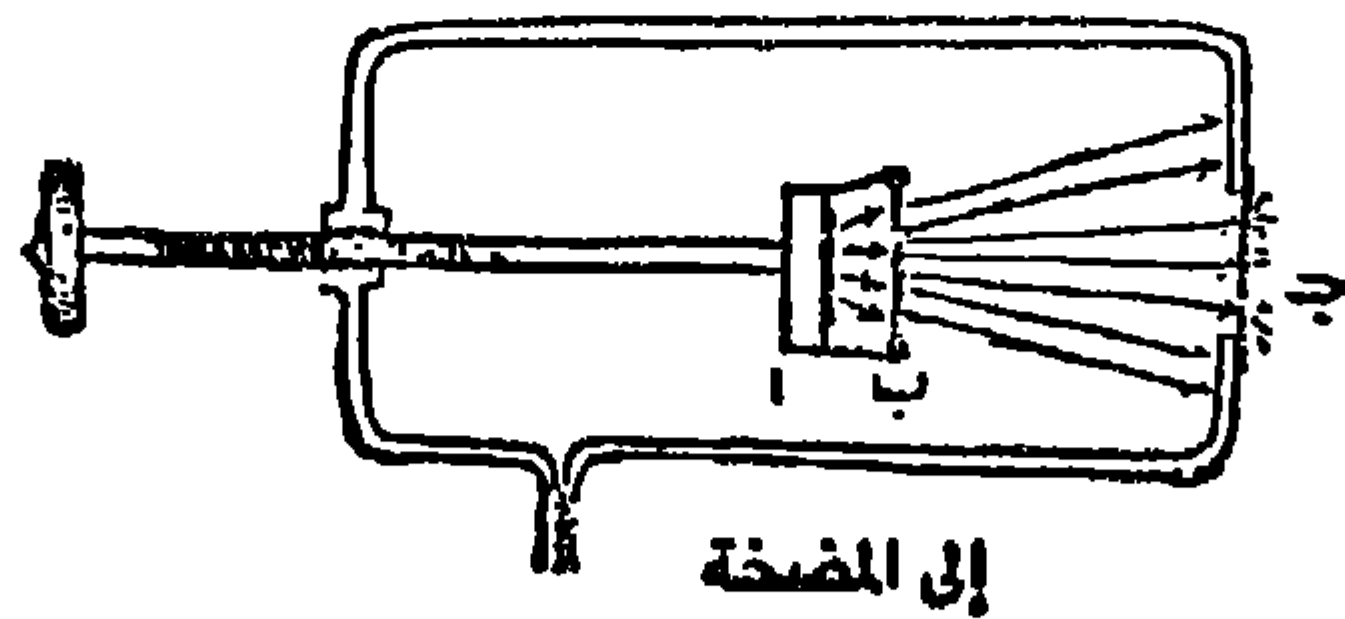
٢ - الجزء الباقي من النواة الأصلية ، وهو بمثابة النواة للعنصر الوليد . وعندما تتحلل ذرة اليورانيوم الأصلية باطلاق جسيمات ألفا ، ثمرة النواة الناتجة للعنصر الوليد يورانيوم ($\times 4$) بعمليات اعادة اتزان كهربى داخليا ، وينطلق منها شحنتان حرتان سالبتان (الكترونات عاديان) من ثم نحصل على نواة نظير اليورانيوم وهى أخف بأربع مرات من نواة اليورانيوم الأصلية . ثم تلى هذا الضبط (التعديل) الكهربى سلسلة من انطلاقات جسيمات ألفا ثم عمليات ضبط كهربى جديدة . وهكذا . . حتى نصل فى النهاية الى نواة ذرة الرصاص التى تبدو مستقرة ولا تميل للانحلال .

ويلاحظ وجود سلسلة مماثلة من عمليات التحول الاشعاعى واطلاق جسيمات ألفا والالكترونات فى عائلتين أخريين من العناصر المشعة : وهما عائلة الثوريوم التى تبدأ بالثوريوم الثقيل ، وعائلة الاكتينيوم التى تبدأ بعنصر تعرف باسم الاكتينويورانيوم . وفى هذه العائلات كلها تستمر عمليات الانحلال التلقائى حتى تبقى ثلاثة نظائر مختلفة من الرصاص فى النهاية .

وربما يندهش القارئ الذكى عند مقارنة الوصف السابق للنشاط الاشعاعى التلقائى بالمناقشة العامة التى أوردناها فى الجزء السابق حيث قلنا : ان عدم استتقرار أنوية الذرات أمر متوقع فى كل عناصر النصف الثانى من الجدول الدورى . حيث تكون اليد العليا لقوى الكهرباء المتنافرة التى تتحكم فى قوى التوتر السطحي وهى القوى التى تميل الى المحافظة على تماسك النواة فى وحدة واحدة . فاذا كانت جميع الأنوية الأثقل من الرصاص غير مستقرة فلم لا نلاحظ الانحلال التلقائى الا فى القليل من العناصر الثقيلة مثل اليورانيوم ، والراديوم ، والثوريوم ؟ والجواب هو أن علينا أن نعتبر من الناحية النظرية أن جميع العناصر الأثقل من الرصاص عناصر نشطة اشعاعيا وانها تتحول حقيقة بالانحلال تدريجيا الى عناصر

خفيفة . الا أنه في أغلب الحالات يتم هذا الانحلال التلقائي ببطء شديد حتى أنه لا يمكن ملاحظته . وهكذا نجد في بعض الذرات المألوفة مثل اليود والزئبق والرصاص أن الذرة قد تنحل مرة أو مرتين في عدة قرون وهو معدل بطيء جدا الى درجة استحالة تسجيله ولو باستخدام أشد أجهزة الفيزياء حساسية . ولا يكون الميل الى الانحلال شديدا بحيث يمكن ملاحظة النشاط الاشعاعي التلقائي الا في أثقل العناصر (١٢) . كما أن معدلات التحول النسبية تتحكم في الأسلوب الذي تنحل به النواة غير المستقرة . لذا فإن نواة اليورانيوم على سبيل المثال يمكن أن تنحل بعدة طرق مختلفة ، فهي قد تنقسم تلقائيا الى جزأين متساويين أو ثلاثة أجزاء متساوية أو عدة أجزاء مختلفة في الحجم ، ومع ذلك فإن أسهل طرق انقسامها هو الانقسام الى جسيم ألفا والجزء الثقيل الباقي منها وهذا هو الشكل المعتاد حدوثه . وقد لوحظ أن انحلال نواة ذرة اليورانيوم تلقائيا الى نصفين يحدث بمعدل أقل مليون مرة من الانحلال الى جسيم ألفا والجزء المتبقى من النواة . وهكذا بينما تنحل عشرة آلاف نواة من جرام يورانيوم واحد في كل ثانية باطلاق كل منها لجسيم ألفا ، علينا أن ننتظر عدة دقائق لكي نرى عملية انحلال تلقائي تنقسم فيها نواة الذرة الى نصفين متساويين ! .

وقد قضت ظاهرة النشاط الاشعاعي على أى شك فيما يختص بتعدد البناء النووي ومهدت الطريق امام تجارب التحولات النووية الاصطناعية بالحث (أو التنشيط) . ثم ظهر تساؤل جديد وهو : اذا كانت نواة العناصر الثقيلة ولا سيما غير المستقر منها تنحل من تلقاء نفسها ألا يمكن لنا أن نحدث انقساما في أنوية العناصر المستقرة الأخرى بضربها بمقدوف نووى سريع بقوة كافية ؟ .



(شكل رقم ٦٧)

كيف أمكن أحداث أول انقسام في الذرة .

وأخذا بهذه الفكرة قرر « رذرفود » اخضاع أنوية عناصر مستقرة عادية لقذف كثيف بأجزاء نووية (جسيمات ألفا) الناتجة عن الانحلال

(١٢) في اليورانيوم مثلا يكون الانحلال بمعدل آلاف الذرات في الثانية لكل جرام .

التلغاني لآنوية بعض العناصر النشطة اشعاعيا فاستخدم فى تجربته الاولى للتحويل النووى عام ١٩١٩ جهازا تراه فى شكل (٦٧) وهو فى غاية البساطة بالنسبة للجهاز العملاق المستخدم فى تحطيم الذرة فى المعامل الفيزيائية حاليا . ويتكون الجهاز من وعاء اسطوانى مفرغ به نافذة دقيقة مصنوعة من الفلورسنت (ج) وتعمل كشاشة ، أما مصدر القذائف (ألفا) فكان طبقة رقيقة من مادة نشطة اشعاعيا مترسبة على الصفيحة المعدنية (أ) وأما العنصر المقذوف وقد كان الألومنيوم فى هذه التجربة فكان عبارة عن الفتيلة الدقيقة (ب) الموضوعة على مسافة معينة من مصدر القذف . ووضعت هذه الفتيلة ، بحيث تستقر كل جسيمات ألفا الساقطة عليها فيها بمجرد وصولها .

وبذلك يستحيل أن تضى الشاشة وستظل مظلمة ما لم تقع تحت تأثير شظايا نووية تنبعث من المادة المستهدفة نتيجة القذف .

وبعد تركيب الجهاز نظر « رذرفورد » الى الشاشة من وراء الميكروسكوب ، فرأى شيئا لا يحتمل اللبس أو الخطأ مهما كانت الظلمة ، اذ توهجت الشاشة بعشرات الآلاف من الشرر اللامع على سطحها بأكمله هنا وهناك ! ولم يكن هذا الشرر الا تأثير البروتونات على مادة الشاشة ، وكان كل بروتون بمثابة « شظية » انطلقت من ذرة ألومنيوم فى مادة الهدف نتيجة سقوط ألفا عليه . وهكذا أصبحت امكانية حدوث تحول نووى اصطناعى حقيقة علمية راسخة بعد أن كانت نظرية (١٣) .

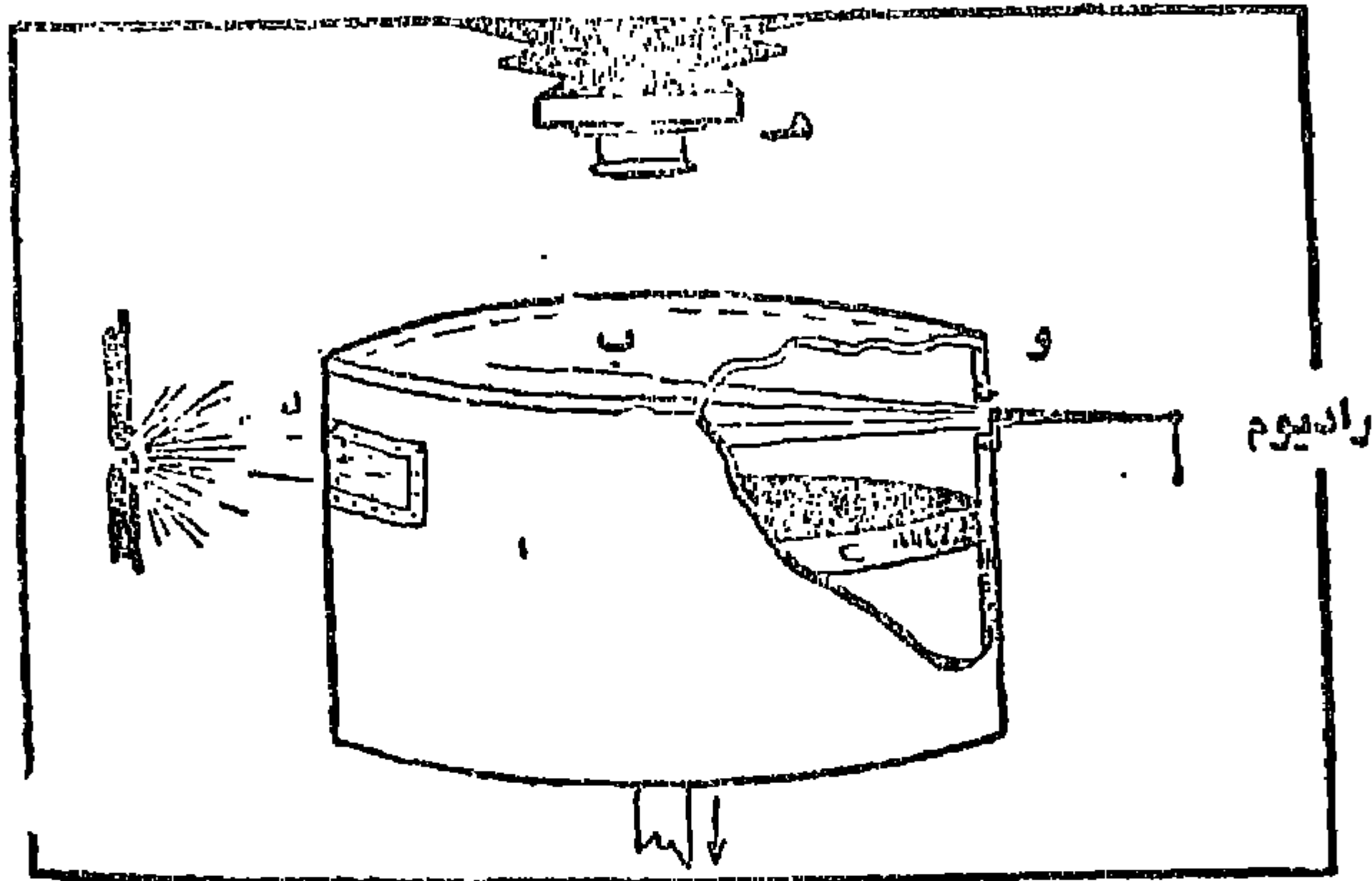
وعلى مر العقود التى تلت تجربة « رذرفورد » الكلاسيكية أصبح علم التحول الاصطناعى للعناصر من أكبر وأهم أفرع الفيزياء وحدث تطور هائل فى وسائل اطلاق القذائف السريعة بهدف القذف النووى وكذا وسائل مشاهدة النتائج التى يتحصلون عليها .

ويعرف الجهاز الذى يسمح لنا بأكبر قدر من المشاهدة بالعين لما يحدث عند اصطدام قذيفة نووية بالنواة بالغرفة الغيمية (أو غرفة « ويلسون » بعد اختراعها) . وترى فى شكل (٦٨) رسما ايضاحيا لها . ويعتمد تشغيلها على أن الجسيمات السريعة المشحونة كجسيمات ألفا ، تؤدى وهى فى طريقها فى الهواء أو أى غاز آخر الى نوع من التشويه فى الذرات التى تعترض سبيلها . فتتزعزع القذائف بفعل مجالاتها الكهربائية القوية ألكترونا أو أكثر من ذرات الغاز التى تصادفها فى الطريق تاركة وراءها عددا من

(١٣) يمكن التعبير عن هذه العملية بالصيغة .



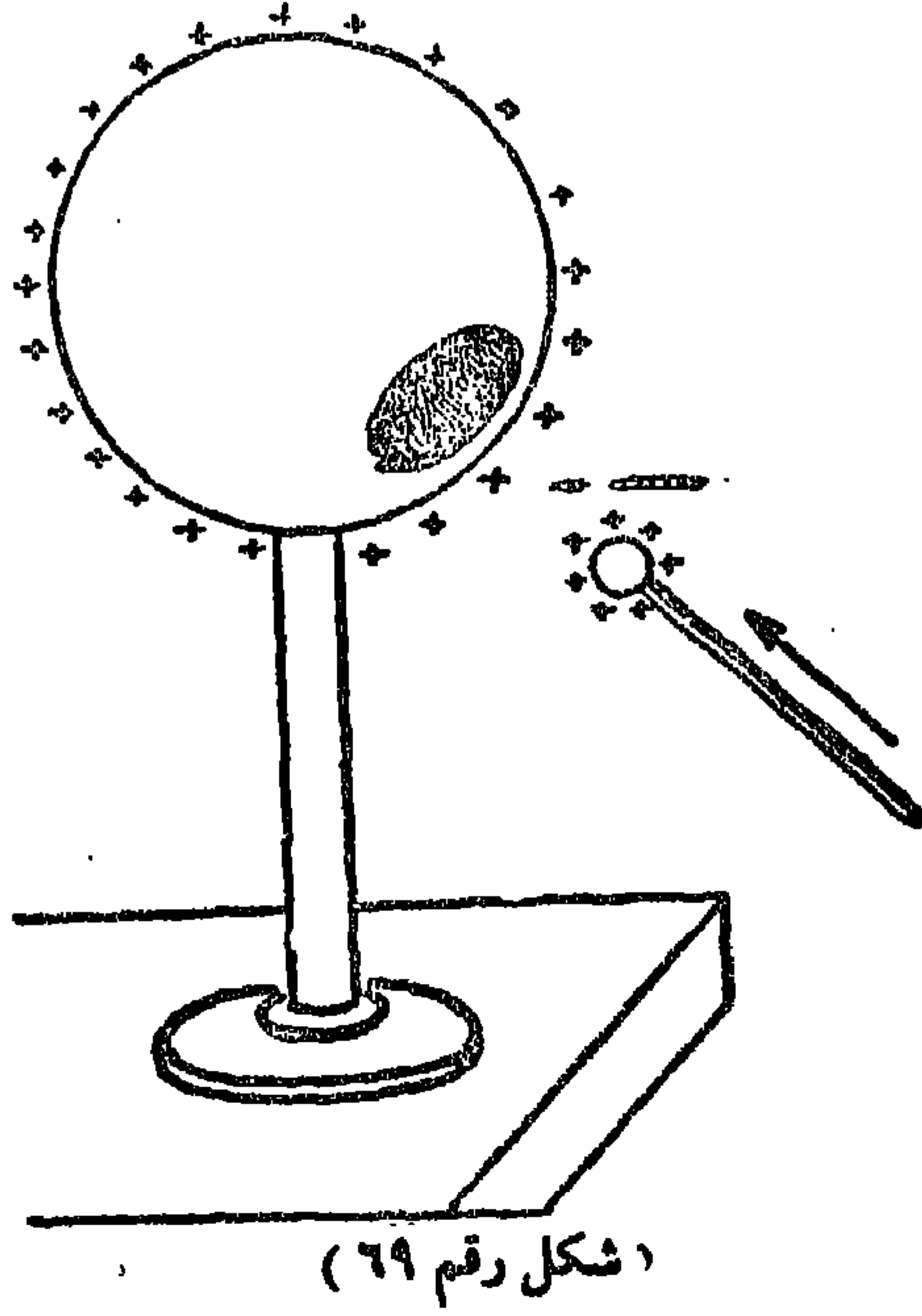
الذرات المتأينة . ولا تستمر هذه الحالة لفترة طويلة اذ أنه بعد مرور القذائف سرعان ما تسترد هذه الذرات المتأينة إلكتروناتها وتعود الى حالتها العادية . ولكن اذا كان الغاز الذي يحدث فيه هذا التأين مشبعاً ببخار الماء ، فان قطيرات صغيرة من الماء تتكون على كل أيون - فمن خواص بخار الماء أنه يميل الى التراكم على الأيونات وجزيئات الغبار وما الى ذلك ، بحيث تتكون أخيراً حزمة دقيقة من الضباب على امتداد مسار القذائف . وبعبارة أخرى يصبح خط سير أى جسيم مشحون فى غاز مرئياً تماماً كمسار الدخان المنبعث من الطائرة .



(شكل رقم ٦٨)

صورة لغرفة « ويلسون » الغيمية .

وتعتبر « الغرفة الغيمية » من وجهة النظر الفنية جهازاً غاية فى البساطة . يتكون أساساً من اسطوانة معدنية (أ) لها غطاء زجاجى (ب) وبها مكبس (ج) يمكن تحريكه الى أعلى وإلى أسفل باستخدام جهاز لا يظهر فى الشكل . ويملأ الفراغ بين الغطاء الزجاجى العادى و سطح المكبس بالهواء الجوى العادى (أو أى غاز آخر) ، ويحتوى الهواء على كمية كبيرة من بخار الماء . فاذا انجذب المكبس فجأة الى أسفل عقب دخول القذائف الذرية الى الحجرة مباشرة من خلال النافذة (هـ) انخفضت درجة حرارة الهواء فوق المكبس وبدأ بخار الماء فى التكثف على شكل هذه الحزم الضبابية التى يضيئها نور قوى يدخل من النافذة الجانبية (د) وسوف تظهر الحزم بوضوح أمام خلفية من سطح المكبس الأسود ويمكن رؤيتها أو تصويرها فوتوغرافياً باستخدام الكاميرا (و) التى تعمل أوتوماتياً مع حركة المكبس . ويسمح لنا هذا الجهاز البسيط وهو أحد أكثر الأجهزة توفراً فى الفيزياء الحديثة بالحصول على صور جميلة لنتائج القذف النووى .



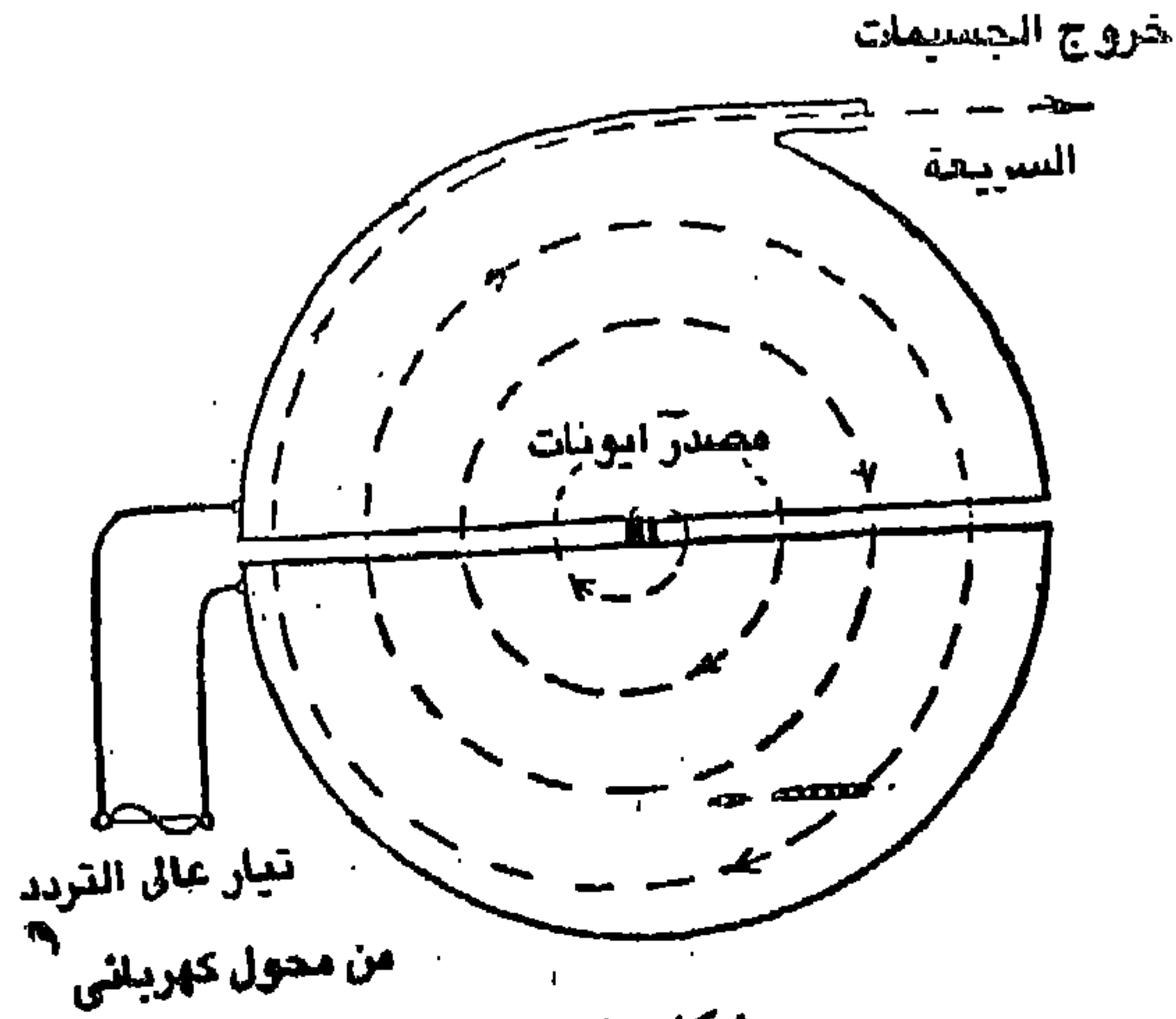
مبدأ عمل المولد الالكتروستاتي

من المعروف فى الفيزياء الأولية ان اشحنة عندما تتصل بهوصل معدنى كروى تتوزع على سطحه . لذا نستطيع ان نشحن هذا الموصل بفرق جهد عال نتحكم فيه ، وذلك عن طريق ادخال شحنات صغيرة الواحدة بعد الأخرى الى جوف هذا الموصل بادخال موصل صغير الشحنة عن طريق فتحة مصنوعة فى الكرة وليس سطح الكرة من الداخل وعملها يستخدم الدارس بالفضل حزاما متصلا يدخل الى الموصل الكروى حاملا شحنات كهربية خارجة من محور كهربى .

وقد كان من الطبيعى كذلك أن تظهر الرغبة فى ابتكار وسائل يمكن من خلالها انتاج قوى من القذائف الذرية ، وذلك ببساطة عن طريق تعجيل الجسيمات المشحونة المختلفة (الأيونات) فى مجال كهربى قوى . وتوفر هذه الأدوات علينا استخدام عناصر مشعة ومكلفة ، بل وتسمح لنا باستخدام أنماط مختلفة من القذائف الذرية (كالبروتونات) والحصول على طاقات حركية أعلى من الطاقات التى يوفرها الانحلال الاشعاعى العادى. ومن بين أهم أدوات انتاج الأشعة الكثيفة المكونة من قذائف ذرية سريعة المولد الالكتروستاتى و « السيكلوترون » و « المعجل الطولى » وتجد وصفا موجزا لوظيفة كل منهم فى الأشكال ٦٩ ، ٧٠ ، ٧١ على التوالى .

وباستخدام الأنواع السابق الإشارة إليها من المعجلات الالكترونية

لإنتاج أشعة قوية من القذائف الذرية المختلفة ، وتوجيه هذه الأشعة في اتجاه أهداف مصنوعة من مواد مختلفة ، يمكن الحصول على عدد كبير من التحولات النووية التي يمكن دراستها بسهولة باستخدام صور « الغرف الخيمية » .



(شكل رقم ٧٠)

مبدأ عمل السيكلوترون

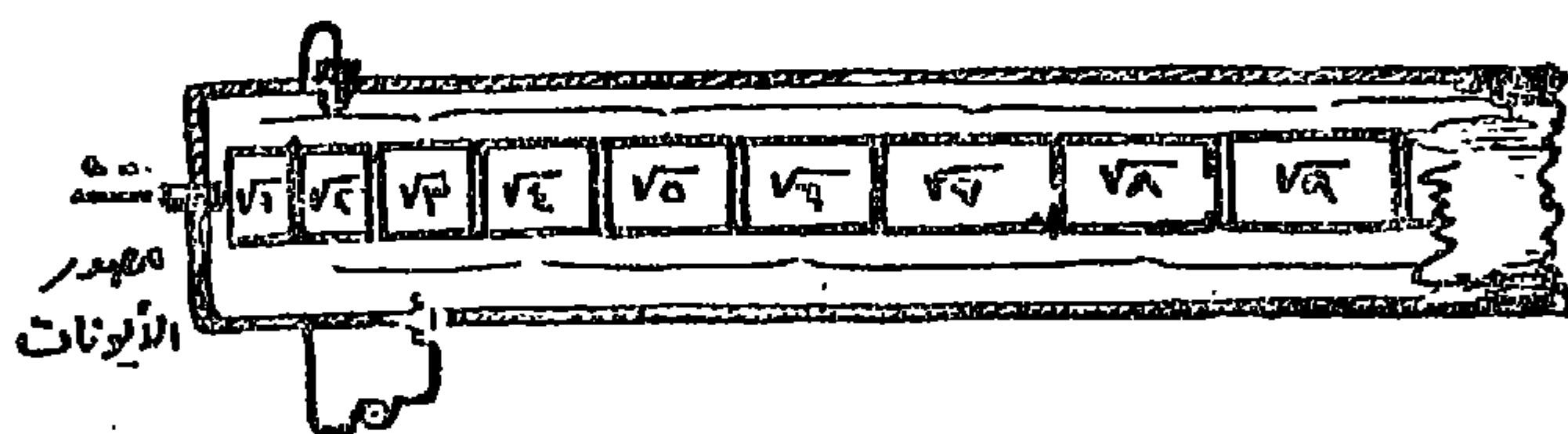
يتكون السيكلوترون أساساً من علبتين شبه اسطوانيتين موضوعتين في مجال مغناطيسي قوى (عمودي على مستوى الرسم) . وتتصل العلبتان بمحول كهربائي ويتم شحنهما بشحنات موجبة وسالبة بالتبادل . وتتحرك الأيونات الخارجة من المصدر الأيوني في المركز في مدارات اسطوانية معجلة وذلك عند مرورها من علبة إلى أخرى كل مرة . وكلما ازدادت السرعة كلما تحركت الأيونات في مدار حلزوني مفتوح ثم تخرج أخيراً بسرعة عالية جداً .

وقد حصل « بلاكت » على أول صورة من هذه النوعية في جامعة كامبريدج وكانت تمثل شعاعاً من جسيمات ألفا المارة عبر حجرة ممثلة بغاز النيتروجين (١٤) . وقد بينت هذه الصورة أساساً أن للمسارات طول محدد لأن الجسيمات تفقد طاقتها الحركية بالتدريج أثناء اختراقها للوسط الغازي ثم تتوقف عن الحركة في النهاية . وقد كان هناك مجموعتان متميزتان في طول المسار ممثلتان لمجموعتين من جسيمات ألفا مختلفتين في طاقة المصدر (خليط من عنصرين تنطلق منهما جسيمات ألفا وهما ^{232}Th و ^{228}Th ويمكن للمرء أن يلاحظ أن مسارات ألفا التي

(١٤) يمثل التفاعل الكيميائي المسجل على صورة بلاكت في المعادلة الآتية :



تبدو مستقيمة بصفة عامة وتظهر انحرافا محددا قبل النهاية ، حيث تفقد الجسيمات أغلب طاقتها الأصلية وتصبح عرضة للانحراف بسهولة نتيجة للصدام غير المباشر بأنوية ذرات النيتروجين التي تعترض طريقها . ولكن أهم ملامح هذه الصورة يكمن فى مسار معين لجسيم ألفا الذى يتفرع بشكل مميز الى فرعين أحدهما طويل ودقيق والآخر قصير وسميك وقد كان ذلك نتيجة الاصطدام القوى بين جسيم ألفا الساقط ونواة احدى ذرات النيتروجين فى الغرفة . ويمثل الخط الدقيق الطويل مسار بروتون مطرود من نواة النيتروجين تحت تأثير قوة الاصطدام ، بينما يعبر المسار القصير السميكة عن النواة التى تنزاح جانبا عند الصدام . ويشير عدم وجود مسار معبر عن جسيم ألفا الساقط الى أن هذا الجسيم قد التحم بالنواة وأصبح يتحرك معها . وعندما يصطدم شعاع من البروتونات السريعة الخارجة من فتحة معجل مع طبقة من البورون موضوعة فى مقابل الفتحة ، فإنه يبعث بشظايا نووية تتطاير فى كافة الاتجاهات فى الهواء المحيط وتظهر مسارات الشظايا ثلاثية دائما ، ذلك لأن اصطدام نواة البورون ببروتون يؤدي الى انقسامها الى ثلاثة أجزاء متساوية (١٥) ويكون مسار البروتون هو أطول المسارات المرئية عند حدوث اصطدام بين ديوترونات سريعة (الديوترون هو نواة الهيدروجين الثقيل المكونة من بروتون ونيوترون) بديوترونات أخرى فى مادة الهدف (١٦) (نواة ${}^1_1\text{H}$ ، فى حين تكون المسارات



(شكل رقم ٧١)

المعجل الخطى : يتكون الجهاز من عدد من الاسطوانات ذات أطوال متزايدة ويتم شحنها بواسطة محول كهربى بشحنات موجبة وسالبة على التوالي . وعند مرور الأيونات من اسطوانة الى أخرى تزيد سرعتها بالتدريج نتيجة لفرق الجهد الموجود وبذلك تزداد طاقتها كل مرة بدرجة معينة . وحيث ان السرعة تتناسب مع الجذر التربيعى للطاقة ، فإن الأيونات تظل متفقة الطور مع المجال المتبادل ، اذا كان طول الاسطوانات متناسبا مع الجذور التربيعية بالأرقام الصحيحة . وبناء نظام كاف فى طوله من هذا النوع يمكن تعجيل الأيونات لاي سرعة مطلوبة .

(١٥) معادلة التفاعل هى :



(١٦) معادلة التفاعل هى :



الأقصر هي مسارات أنوية الهيدروجين الثلاثي الثقيل المعروف بالتريترون tritron ولا يمكن لأي صورة للغرفة الغيمية أن تكتمل دون وجود تفاعل نووي تدخل فيه النيوترونات التي تعتبر هي والبروتونات المكونات الأساسية لبنية جميع الأنوية .

ومن غير المجدي إطلاقاً أن نبحث عن مسارات النيوترون في صور الغرفة الغيمية حيث أنه في غياب الشحنات الكهربائية تمر هذه « الحبول السوداء ذات الطبيعة النووية » من المادة دون حدوث تأين من أي نوع . ولكن عندما ترى الدخان المنبعث من بندقية الصياد ، والطائر الساقط من السماء تعرف أن رصاصة قد أطلقت حتى دون أن تراها . وبالمثل عند النظر إلى صورة الغرفة الغيمية التي تظهر فيها نواة النيتروجين وقد انقسمت إلى هليوم وبورون ، لن تستطيع إلا أن تخمن أن النواة قد أطلقت عليها قذيفة ما بقوة . والحقيقة أنك حتى تحصل على مثل هذه الصورة عليك أن تضع عند الجدار الأيسر للغرفة الغيمية خليطاً من الراديوم والبريليوم وهو خليط معروف كمصدر للنيوترونات السريعة (١٧) .

ويمكن تحديد الخط المستقيم الذي كان النيوترون يتحرك فيه عبر الغرفة في الحال ، وذلك بتوصيل نقطة مصدر النيوترون بالنقطة التي يحدث فيها انقسام ذرة النيتروجين .

إن عملية انقسام نواة اليورانيوم تظهر شظيتين من شظايا الانقسام المتطايرتين في اتجاهين عكسيين من رقيقة معدنية من الألومنيوم تدعم طبقة اليورانيوم المستهدفة بالقذائف . ولا يظهر النيوترون الذي تسبب في الانشطار في الصورة ولا النيوترون الناتج عنه بالطبع ، ونستطيع أن نمضي بلا نهاية في وصف أنماط التحولات النووية الممكن الحصول عليها عن طريق القذف النووي بقذائف معجلة كهربياً ، ولكن الوقت قد حان الآن لمناقشة سؤال أكثر أهمية يتعلق بكفاءة مثل هذا القذف . وعلينا أن نتذكر أننا لكي نحول (١) جرام من البورون تماماً إلى الهليوم ينبغي أن نحدث انقساماً في كل ذرة من الذرات الموجودة في البورون وعددها 5×10^{22} . وينتج أقوى معجل كهربى حديثاً حوالى 10^{10} قذيفة في الثانية ، لذا حتى لو كانت كل قذيفة ستحدث انشطارا في إحدى أنوية

(١٧) يمكن كتابة العمليات التي تحدث هنا بلغة الكيمياء كالآتي :

(أ) إنتاج النيوترون :



(ب) تأثير النيوترون على نواة النيتروجين :



البورون ينبغي علينا تشغيل الآلة لمدة ٥٥ مليون ثانية أو حوالى عامين لانتهاء هذه المهمة .

والحق أن تأثير القذائف النووية المشحونة الناتجة عن آلة معجلة أقل من ذلك بكثير ، وعادة لا يمكن الا لقذيفة واحدة من بين عدة آلاف القذائف أن تحدث انقساماً فى المادة المقذوفة . ويمكن تفسير هذه الفعالية الضعيفة جداً للقذف فى أن نواة الذرة تكون محاطة بأغلفة من الالكترونات تؤدي الى ابطاء سرعة القذائف النووية المشحونة التى تتحرك بينها . وحيث أن المساحة التى يحتلها الغلاف النووى أكبر بكثير جداً من المساحة التى تحتلها النواة كما أننا لا نستطيع بالطبع أن نوجه قذائف ذرية مباشرة على النواة ، إذن لابد لكل قذيفة أن تخترق العديد من الأغلفة الذرية قبل أن تتاح لها فرصة توجيه ضربة مباشرة لاحدى الأنوية . ويعبر شكل (٧٢) عن هذه العملية حيث تظهر النواة فيه على شكل كتلة من الكرات السوداء ، وتعتبر المساحة المظلمة عن الأغلفة الالكترونية . والنسبة بين قطر النواة وقطر الذرة حوالى ١ : ١٠.٠٠٠ فالقذف يستهدف إذن

من الذرة ومن ناحية أخرى نحن نعرف أن الجسيم $\frac{1}{10000000000}$

المشحون المار من غلاف الكترونى فى ذرة يفقد حوالى ١٪ من طاقته ، ولذا فهو يتوقف تماماً بعد مروره من حوالى ١٠.٠٠٠ جسم ذرى . ومن السهل أن نرى من الأرقام السابقة أن حوالى جسيم واحد من كل ١٠.٠٠٠ جسيم فقط سوف تتاح له الفرصة للاصطدام بالنواة قبل أن يستنفد طاقته الابتدائية تماماً فى الأغلفة الذرية . وبأخذ هذه الكفاءة المنخفضة للقذائف المشحونة على توجيه ضربات مدمرة لنواة المادة المستهدفة فى الاعتبار ، نجد أننا لكى نحول جراماً من البورون تحويلاً كاملاً ينبغي أن نضسعة فى طريق شعاع لجهاز حديث لتحطيم الذرة لمدة لا تقل عن ٢٠.٠٠٠ عاماً ! .



(شكل رقم ٧٢)

٤ - النويات : (NUCLEONICS)

ان كلمة « النويات » تعتبر من الكلمات القاصرة للغاية ، ولكنها مثل الكثير من الكلمات التى لا تزال تحتفظ بمكان فى الاستخدام العلمى ولا حيلة فى ذلك . وكما يستخدم مصطلح « الالكترنيات » لوصف المعارف فى مجال التطبيق العلمى المتسع على أشعة الالكترونات الحرة ينبغى أن نفهم من مصطلح « النويات » أن المقصود به التطبيق العلمى الواسع المجال للطاقة النووية المتحررة . وقد رأينا فى الأجزاء السابقة أن أنوية العناصر الكيميائية المختلفة (عدا الفضة) مشحونة بكميات هائلة من الطاقة الداخلية التى يمكن إطلاقها عن طريق عملية الاندماج النووى فى حالة العناصر الخفيفة ، والانشطار النووى فى حالة العناصر الثقيلة . وقد رأينا أيضا أن أسلوب القذف النووى بالجسيمات المشحونة المعجلة صناعيا ، على الرغم من أهميته للدراسة النظرية للتحويلات النووية المختلفة لا يعول عليه فى الاستخدام العلمى وذلك لضعف كفاءته الشديد .

وحيث ان سبب نقص كفاءة القذائف النووية مثل جسيمات ألفا ، والبروتونات وهلم جره . . يكمن أساسا فى شحنتها الكهربائية التى تؤدى الى فقدانها للطاقة أثناء المرور من الأجسام الذرية ، ومنعها من الاقتراب بما يكفى من النواة المشحونة فى المادة المستهدفة للقذف ، فلا بد أن نتوقع أننا نستطيع الحصول على نتائج أفضل بكثير باستخدام قذائف غير مشحونة ، وتوجيه ضربات الى أنوية الذرات المختلفة باستخدام النيوترونات . ومع ذلك فهنا تكمن الصعوبة ! فالنيوترونات لا توجد بمفردها فى الطبيعة بسبب قدرتها على اختراق البناء النووى دون صعوبة تذكر ، وعندما يطرد نيوترون الى خارج النواة بطريقة اصطناعية نتيجة لتوجيه قذيفة ما اليها (مثل نيوترون من نواة بريليوم تتعرض للقذف بأشعة ألفا) فسرعان ما تقتنصه نواة أخرى .

ولذا حتى نتمكن من انتاج شعاع قوى من النيوترونات بغرض القذف النووى علينا أن نخل أحد العناصر من جميع نيوتروناته . وهنا نعود مرة أخرى الى انخفاض كفاءة القذائف المشحونة التى يجب استخدامها فى هذا الغرض .

ومع ذلك فهناك مخرج من هذه الحلقة المفرغة ، اذا استطعنا طرد النيوترونات باستخدام نيوترونات أخرى ، على أن يكون ذلك بحيث نجعل كل نيوترون يلد عدة نيوترونات(*)، عندئذ سوف تتضاعف هذه الجسيمات

(*) او حتى اكثر من نيوترون .

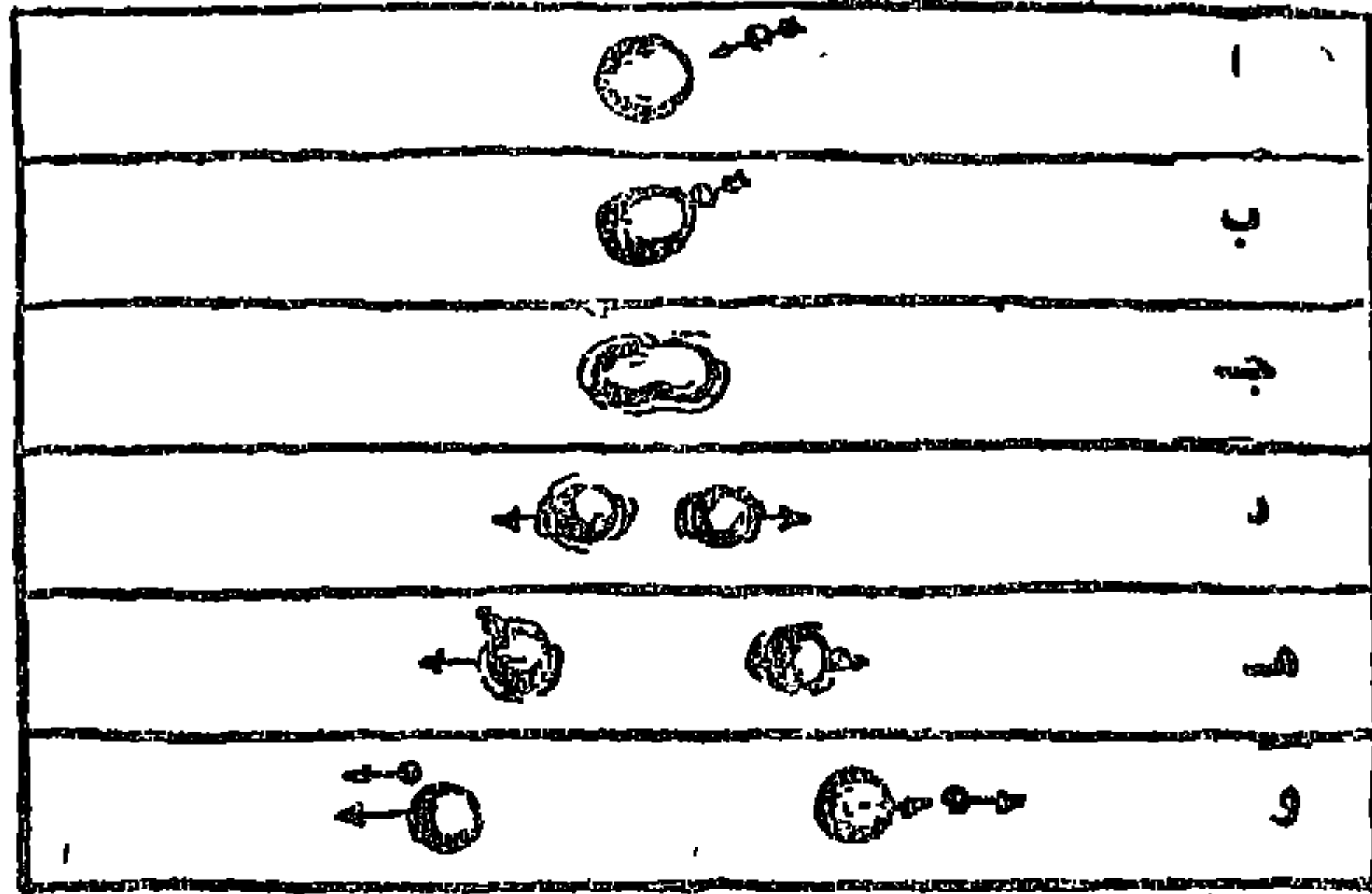
كالأراتب (انظر شكل ١٧) ، أو البكتريا فى نسيج مصاب ، كما أن النيوترونات الناتجة سوف يزداد عددها بدرجة تكفيها لمهاجمة جميع الأنوية فى كتلة ضخمة من المادة .

ان الازدهار العظيم لعلم الفيزياء النووية ، هذا الذى خرج بالفيزياء من برمجها العاجى حيث كانت عاكفة على دراسة أهم خواص المادة الى دوامة صاخبة من عناوين الصحف البراقة ، قد أشعل الجدل السياسى . ويرجع التطور الهائل فى التصنيع والعلوم العسكرية الى اكتشاف تفاعل نووى معين يؤدى الى جعل تضاعف النيوترون أمرا ممكنا . وكل قارئ للصحف يعلم أن الطاقة النووية ، أو الطاقة الذرية كما يطلقون عليها يمكن الحصول عليها من خلال عملية انشطار نواة اليورانيوم التى اكتشفها « هان » و « شتراسمان » فى أواخر عام ١٩٣٨ .

ولكن من الخطأ الاعتقاد أن الانشطار فى حد ذاته وهو انقسام نواة عنصر ثقيل الى جزأين متساويين هو السبب فى ذلك التفاعل النووى المستمر . والواقع أن الشظيتين النوويتين الناتجتين عن الانشطار تحملان شحنات كهربية ثقيلة (حوالى نصف شحنة نواة اليورانيوم لكل منهما) ، وهذا يمنع كلا منهما من الاقتراب من أى نواة أخرى . لذا فان فقدان هاتين الشظيتين لشحنتيهما الأوليتين فى الأغلفة الالكترونية للذرات المجاورة يجعلهما تبطآن تدريجيا الى أن تقفا دون احداث أى انشطار آخر . ان ما يجعل الانشطار على هذه الدرجة من الأهمية بالنسبة لاحداث تفاعل نووى ذاتى ، هو الاكتشاف الذى مؤداه أن قبل سكون هاتين الشظيتين تخرج من كل منهما نيوترون (شكل ٧٣) .

وهذا الأثر الغريب اللاحق للانقسام يعزى الى أن النصفين الناتجين عن انشطار نواة ثقيلة يبدأ خروجهما الى الوجود فى حالة تذبذب عنيف مثلها فى ذلك مثل قطعتين من زنبرك مكسور . وهذه الذبذبات التى تعجز عن احداث انشطار نووى ثانوى (فى كل من الشظيتين الى جزأين) تكون مع ذلك من القوة بحيث تؤدى الى انفصال وحدات بنائية معنية من النواة . وعندما نقول أن كل شظية تطرد نيوترونا واحدا فانما نقصد بذلك الناحية الاحصائية وحسب ، ففي بعض الحالات قد تطرد الشظية « نيوترونين » أو أكثر . وقد لا تطرد شيئا فى حالات أخرى . ويتوقف متوسط عدد النيوترونات المنطلقة من شظية منقسمة على كثافة الذبذبات فيها بالطبع ، وهو ما تحدده الطاقة الكلية المتحررة فى عملية الانقسام من ناحية أخرى . وحيث ان الطاقة المتحررة فى الانقسام تتزايد ، كما رأينا من قبل ، مع تزايد وزن النواة المنقسمة فهن المتوقع أن متوسط عدد النيوترونات للشظيات المنقسمة يتزايد أيضا فى النظام الدورى تصاعديا ،

لذا فان انقسام نواة الذهب الذى يتطلب طاقة عالية جدا لبدء الانقسام سوف يعطى قدرا من النيوترونات اقل بكثير من نيوترون واحد لكل شظية ، كما أن انقسام اليورانيوم يعطى متوسطا قدره حوالى نيوترون لكل شظية (حوالى نيوترونين فى الانقسام) فى حين أن انقسام العناصر الأثقل (كالبلوتونيوم مثلا) يكون متوسط عدد النيوترونات المتحررة عن كل شظية نتيجة له أكبر من (١) نيوترون .



(شكل رقم ٧٣)

المراحل المتتابة لعملية الانقسام

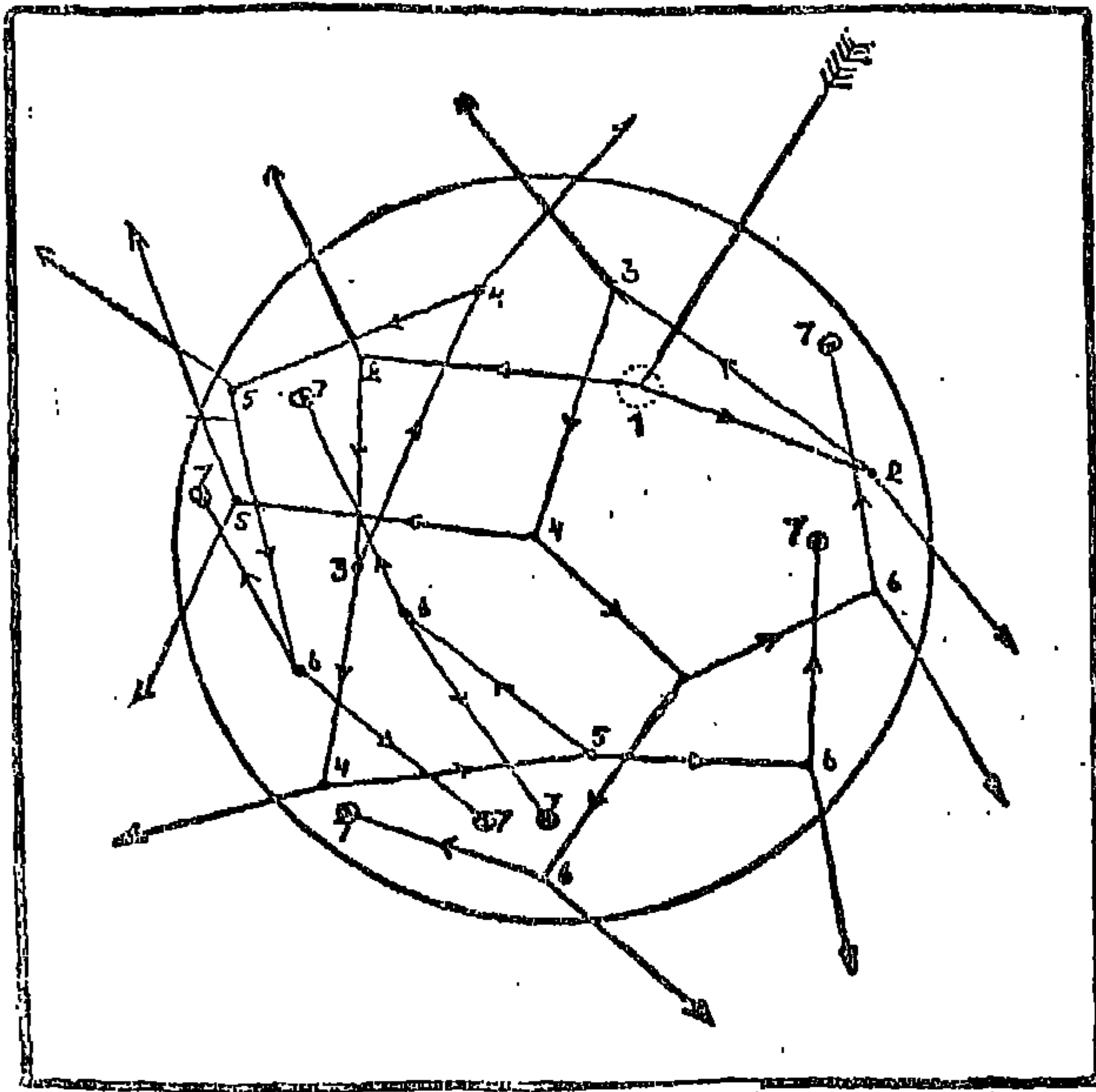
وحتى توفر الظروف للتوالد المستمر للنيوترونات من الواضح أنه من كل مائة نيوترون يدخلون مادة مثلا لابد وأن نحصل على أكثر من مائة نيوترون من الجيل الثانى . وامكانية تحقيق هذا الشرط تعتمد على الكفاءة النسبية للنيوترونات فى احداث انقسام لنوع ما من الأنوية والحصول على العدد المتوسط من النيوترونات الجديدة بعد تحقيق هذا الانقسام . وينبغى أن نتذكر أنه على الرغم من الكفاءة العالية للنيوترونات كقذائف ، برغم تفوقها الشديد على الجسيمات المشحونة ، إلا أن قدرتها على احداث الانقسام ليست مائة فى المائة . والواقع أنه من الممكن دائما أن يتخلى النيوترون على السرعة للنواة عن جزء من طاقته الحركية بعد دخولها ، ثم يهرب بما تبقى له من طاقة ، وفى هذه الحالات سوف تتوزع الطاقة بين عدة أنوية بحيث يكون نصيب كل منها غير كاف لاجداث الانشطار .

ونستطيع أن نستنتج من النظرية العامة لبنية النواة أن كفاءة الانشطار بالنيوترونات تتناسب طرديا مع الوزن الذرى للعنصر المستهدف ، وتكاد تصل الى ١٠٠٪ بالنسبة للعناصر القريبة من آخر الجدول الدوري .

ويمكننا الآن اعطاء مثالين رقميين على الظروف المناسبة وغير المناسبة لتولد النيوترونات :

(أ) افترض أن لدينا عنصرا تبلغ كفاءة النيوترونات السريعة على أحداث الانشطار فيه ٣٥٪ وعدد النيوترونات الناتجة عن الانشطار فيه ١٦٨ (١٨) . وفى هذه الحالة يتسبب ١٠٠ نيوترون أصلي فى أحداث ٣٥ انشطارا وتوليد $١٦٨ \times ٣٥ = ٥٦$ نيوترونا من الجيل الثانى .

ومن الواضح فى هذه الحالة أن عدد النيوترونات سينخفض بسرعة مع الوقت ، حيث أن كل جيل سيقبل بمقدار النصف عن الجيل السابق عليه .



(شكل رقم ٧٤)

سلسلة تفاعلات نووية فى قطع كروى من مادة قابلة للانشطار نتيجة لنيوترون ضال . وعلى الرغم من فقدان المزيد من النيوترونات بعبورها للسطح إلا أن عدد النيوترونات فى الأجيال المتعاقبة يتزايد مما يؤدى إلى انفجار .

(ب) وافترض الآن أننا قد أخذنا عنصرا أثقل تكون كفاءة النيوترونات على أحداث انشطار فيه ٦٥٪ ومتوسط عدد النيوترونات الناتجة عن انشطاره ٢٢ (١٨) . فى هذه الحالة سيتسبب ١٠٠ نيوترون أصلي فى ٦٥

(١٨) تم اختيار هذه الأرقام بهدف اعطاء المثال فقط وهى لا تمثل أى عنصر حقيقى ما .

انشطارا وتوليد $2 \times 65 = 130$. ومع كل جيل جديد يزيد عدد النيوترونات بنسبة قدرها ٥٠٪ . وفي خلال وقت قصير سيكون العدد كافيا لحدوث انشطار في جميع أنوية السلسلة . ونحن هنا نتحدث عن سلسلة التفاعلات النووية المستمرة وتسمى المواد الخاضعة لهذا التفاعل **المواد القابلة للانشطار** .

وتفيد الدراسات النظرية والتجريبية الدقيقة في معرفة شروط حدوث سلسلة التفاعلات المتفرعة المستمرة وقد استنتج منها أنه من بين جميع الأنوية الموجودة في الطبيعة لا يوجد إلا نوع واحد منها فقط يمكن أن تحدث فيه هذه التفاعلات طبيعيا ، وهو نواة نظير اليورانيوم المشع $U-235$ أو يو ٢٣٥ ، وهي المادة الوحيدة القابلة للانشطار بصورة طبيعية .

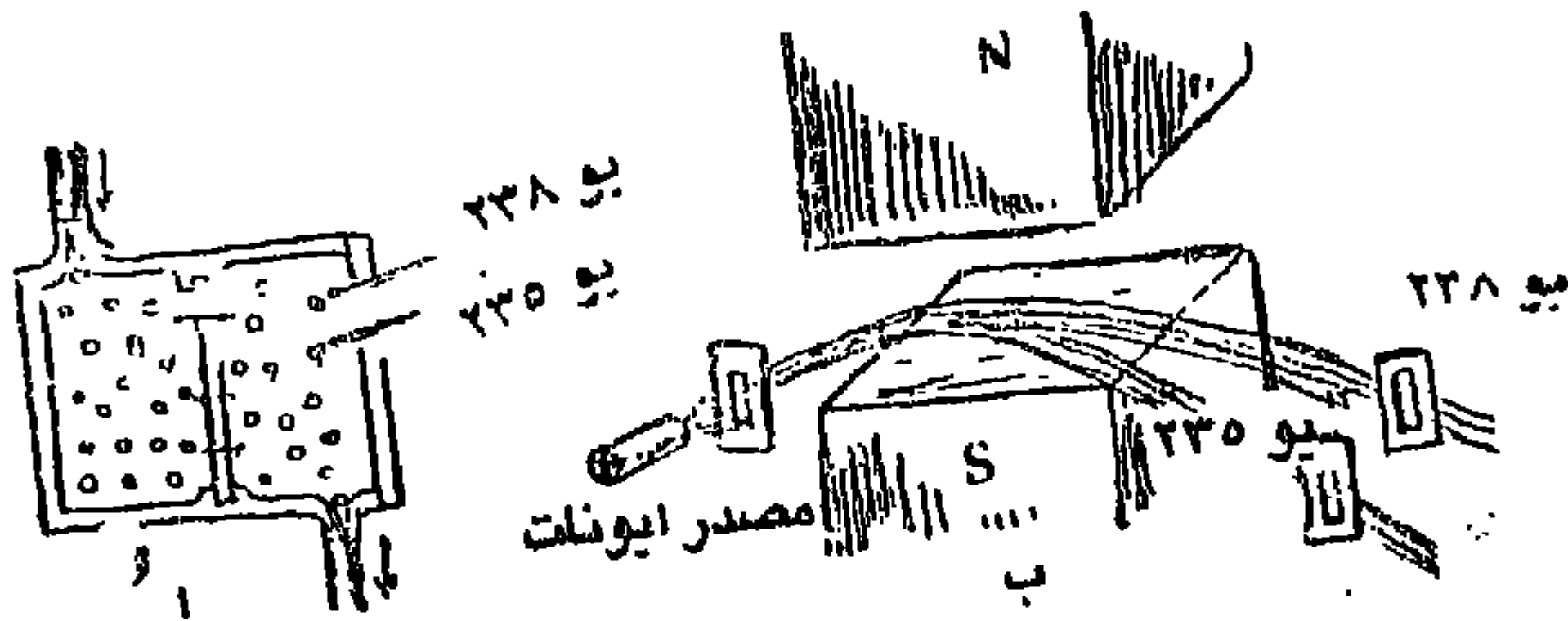
ومع ذلك فإن $U-235$ لا يوجد في الطبيعة على صورته النقية ، ويوجد دائما مخففا جدا بالنظائر الأثقل غير القابلة للانشطار من $U-238$ (٧ في المائة من $U-235$ ، و ٩٩٣ في المائة من $U-238$) الأمر الذي من شأنه أن يعوق حدوث سلسلة التفاعلات في اليورانيوم الطبيعي ، تماما كما يؤدي وجوء الماء في الحشب الى منع احتراقه . والواقع أن هذا التخفيف بالنظائر غير النشطة هو السبب الوحيد الذي يجعل $U-235$ موجودا في الطبيعة ، حيث أنه لولا ذلك لكان هذا اليورانيوم قد اندثر منذ فترة طويلة نتيجة لسلاسل التفاعلات المتفرعة التي تتم فيه . لذا فحتى يمكن استخدام طاقة $U-235$ لابد للمرء من أن يفصل هذه الأنوية عن أنوية $U-238$ الأثقل ، أو أن يبتكر وسيلة لمعادلة الأثر المعوق لهذه الأنوية دون التخلص منها بالفعل . وقد استخدمت كلتا الطريقتين في مشكلة تحرير الطاقة الذرية ولاقت كل منهما نجاحا . وسوف نناقش هذا بإيجاز بعد قليل حيث أن المشكلات الفنية من هذا النوع لا تدخل في إطار هذا الكتاب (١٩) .

إن عملية الفصل المباشرة لنظير اليورانيوم تمثل مشكلة تقنية بالغة الصعوبة ، حيث أن الفصل لا يمكن أن يتم باستخدام الوسائل المعتادة في الكيمياء الصناعية بسبب تطابق النظيرين في خواصهما الكيميائية . والفارق الوحيد بين هذين النوعين من الذرات يكمن في كتلتيهما فأحدهما أثقل من الأخرى ب ١٣ في المائة . وهذا يوحي بأن

(١٩) لمزيد من التفاصيل نحيل القارئ الى كتاب « شرح الذرة » تأليف « سـليـج هيك » والذي صدرت أولى طبعاته عن « فايكنج برس » عام ١٩٤٧ وتوجد طبعة جديدة ، منقحة ومفصلة للبروفيسور « ايوجين رابين فيتش » في سلسلة « كومباس » الشعبية .

الفصل يعتمد على عمليات مثل الانتشار ، والطررد المركزى أو انحراف الأشعة المتأينة فى المجالات المغناطيسية والكهربية حيث تلعب كتلة الذرات المنفصلة دورا أساسيا . وقد عرضنا فى شكل ٧٥ (أ ، ب) رسما تخطيطيا لعمليتي الفصل الأساسيتين مع وصف موجز لكل منهما .

وعيب هذه الوسائل بصفة عامة يكمن فى أن عملية الفصل لا يمكن انجازها فى خطوة واحدة بسبب الفارق الضئيل بين كتلتى نظيرى اليورانيوم ، ولذا فالأمر يتطلب اعادة عددا كبيرا من المرات بحيث يحتوى الناتج على عدد أكبر من النظائر الخفيفة وعلى أية حال يمكن لعدد معقول من مرات الاعادة أن يمدنا بعينة نقية من U-235



(شكل رقم ٧٥)

(أ) فصل النظائر عن طريق الانتشار حيث يضغط الغاز المحتوى على التأثيرين فى الجزء الأيسر من الحجرة وينتشر عبر الجدار الذى يفصله عن الجزء الآخر وحيث أن الجزيئات الخفيفة أسرع انتشارا فإن الجزء الذى على اليمين يصبح مزودا باليورانيوم ٢٣٥ .

(ب) فصل النظائر باستخدام الأسلوب المغناطيسى . ويرسل فيه الشعاع عبر مجال مغناطيسى قوى ، حيث تنحرف الجزيئات المحتوية على نظير اليورانيوم الأخف بدرجة أكبر . وحيث أن الحصول على كثافة جيدة يتطلب استعمال فتحات واسعة ، فإن الشعاعين (يورانيوم ٢٣٥ ، يورانيوم ٢٣٨) يتداخلان جزئيا وبالتالي نحصل على فصل جزئى فتسبب .

وهناك طريقة أكفأ بكثير فى اجراء سلسلة تفاعلات اليورانيوم حيث يتم اضعاف الأثر المعوق للنظائر الأثقل صناعيا باستخدام ما يعرف بـ « ملطف النيوترونات » Moderator . وحتى يتسنى لنا فهم هذه الطريقة ينبغى أن نتذكر أن التأثير السالب لنظائر اليورانيوم الثقيلة يكمن أساسا فى امتصاص نسبة مئوية كبيرة من النيوترونات المنتجة عند انشطار U-235 ، وبالتالي يوقف امكانية سير سلسلة التفاعلات المستمرة لذا ، فإذا استطعنا أن نفعل شيئا لمنع U-238 من اختطاف النيوترونات

قبل أن تتاح لها فرصة الالتقاء مع نواة $U-235$ وهو الأمر الذى يؤدي الى انشطارها فان المشكلة تكون قد حلت . وتبدو مهمة منع أنوية $U-238$ (وهى أكثر عددا من أنوية $U-235$ ١٤٠ مرة) من الاستيلاء على نصيب الأسد فى النيوترونات ، مسألة مستحيلة تماما لأول وهلة ومع ذلك فان مما يساعدنا على هذا أن قدرة النيوترون (الاسـتـيـلائية) فى نظيرى اليورانيوم تختلف وفقا لسرعة حركة النيوترون .

فبالنسبة للنيوترونات السريعة التحرر من النواة المنقسمة تكون قدرات الاستيلاء فى النظيرين واحدة ، ومن ثم يستولى $U-238$ على ١٤٠ نيوترون مقابل كل نيوترون يستولى عليه $U-235$. أما النيوترونات متوسطة السرعة فيعتبر نواة $U-238$ قناصا أمهر من نواة $U-235$. ومع ذلك ، وهو المهم ، فان نواة $U-235$ أكفأ بكثير فى اقتناص النيوترونات البطيئة جدا . وهكذا اذا استطعنا خفض سرعة نيوترونات الانشطار بحيث تقل سرعتها الأصلية الى حد كبير قبل أن تواجه أول نواة يورانيوم (٢٣٨ أو ٢٣٥) فى طريقها فان أنوية $U-235$ رغم كونها أقلية تكون فرصتها أكبر من نواة $U-238$ فى الاستيلاء على النيوترونات .

ويمكن تحقيق هذا الإبطاء المطلوب بتوزيع عدد كبير من قطع اليورانيوم الصغيرة فى مادة معينة (مهدىء النيوترونات) مما يؤدي الى خفض سرعة النيوترونات دون فقدان الكثير منها . وأفضل المواد المستعملة لهذا الغرض : الماء الثقيل ، والكربون ، وأملاح البريليوم وترى فى شكل (٧٦) صورة تخطيطية لكيفية عمل هذا المفاعل الذرى من حبيبات اليورانيوم الموزعة داخل مادة ملطفة للنيوترونات (٢٠) وكما أشرنا سابقا تعتبر نظائر اليورانيوم $U-235$ (وهى تمثل ٧ فى المائة فقط من اليورانيوم الطبيعى) هى النوع الوحيد الموجود من الأنوية القابلة للانشطار التى تسمح بحدوث سلسلة التفاعلات المستمرة ، ومن ثم فهى تؤدي الى تحرير الطاقة النووية على نطاق واسع .

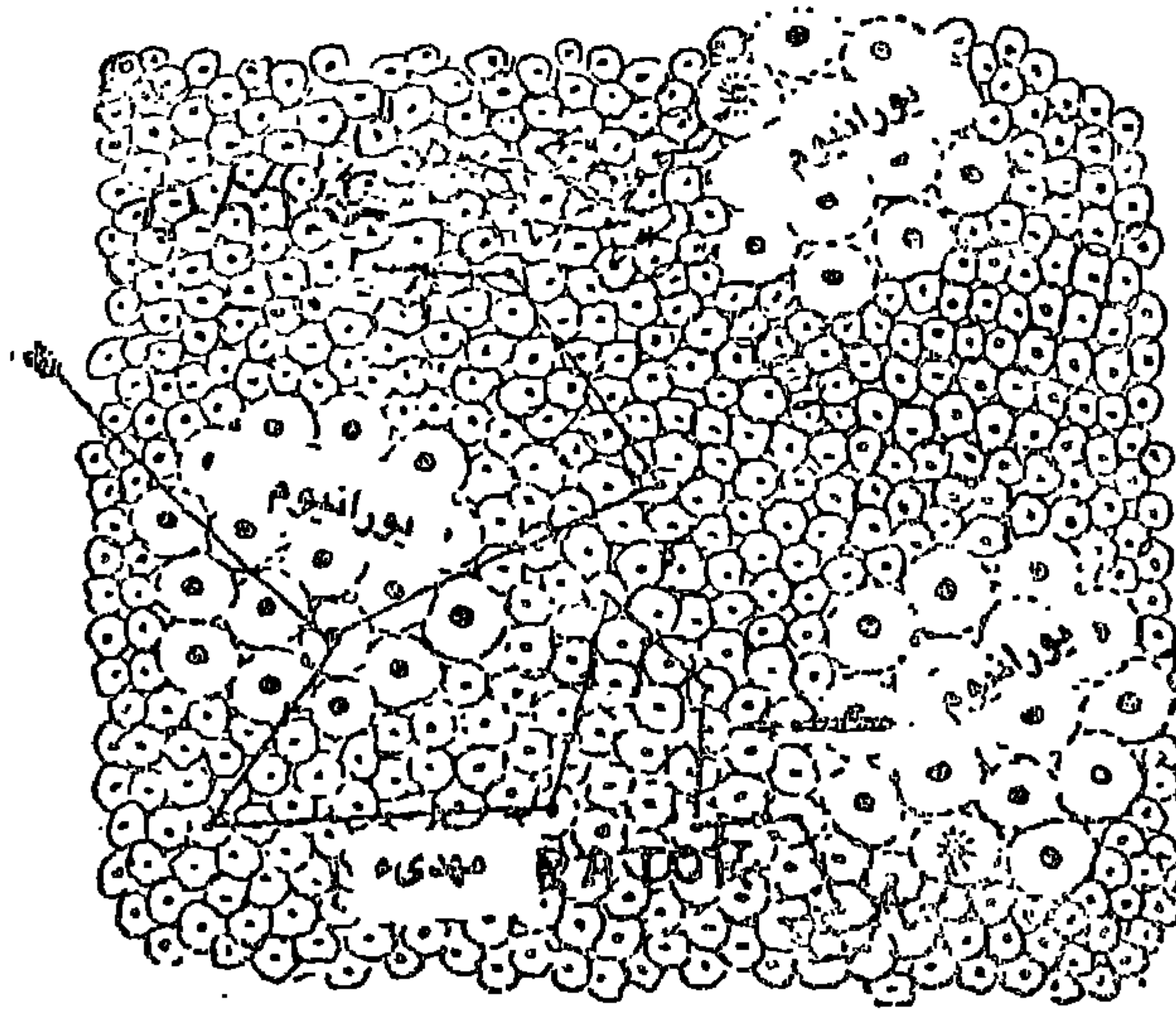
ومع ذلك فهذا لا يعنى أننا عاجزون عن الحصول صناعيا على أنوية أخرى تتوافر لها نفس خواص $U-235$ ولا توجد فى الطبيعة . فالواقع أن استخدام الكميات الكبيرة من النيوترون الناشئة عن سلسلة التفاعلات المستمرة فى عنصر قابل للانشطار يمكننا من تحويل الأنوية غير القابلة للانشطار أصلا الى أنوية قابلة للانشطار .

وقد سبقت الإشارة الى أول الأمثلة على هذا النوع فى « المفاعل »

(٢٠) لمزيد من التفاصيل عن مفاعلات اليورانيوم نجيل القارىء ثانية الى الكتب المتخصصة فى الطاقة الذرية .

الذرى ، حيث يتم استخدام اليورانيوم الطبيعى مختلطا بالمادة الملطفة .
ولقد رأينا أنه باستخدام الملطف يمكننا أن نخفض من تدرية U-233
على أسر النيوترونات الى الحد الذى يسمح ببدء واستمرار سلسلة تفاعلات
مستمرة بين أنوية U-235 . ومع ذلك فان بعض النيوترونات لاتزال
عرضة للاستيلاء عليها بواسطة U-238 والى أين يقودنا هذا ؟

ان النتيجة المباشرة لأسر النيوترون فى U-233 هى بالطبع
نظير اليورانيوم الأثقل U-239 ومع ذلك فقد وجد أن هذه الأنوية الناشئة
لا تعمر لفترة طويلة ، وبإطلاقها لالكترونين واحدا بعد الآخر تتحول هذه
النواة الى عنصر كيميائى جديد رقمه الذرى ٩٤ . وهذا العنصر الاصطناعى
الجديد والمعروف بالبلوتونيوم (PU-239) أكثر قابلية للانشطار حتى من
U 235 واذا استبدلنا ب U-238 عنصرا طبيعيا نشطا هو الثوريوم
(Th 232) فان نتيجة الاستيلاء على النيوترون وانطلاق الكترونين بعد ذلك
سوف يؤدى الى الحصول على عنصر اصطناعى آخر قابل للانشطار
وهو U-233



(شكل رقم ٧٦)

ان هذا الرسم الذى يقترب الى حد ما من الرسوم البيولوجية يمشى كل
اليورانيوم (الذرات الكبيرة) الكامنة فى مادة ملطفة (الذرات الصغيرة) .
ويدخل نيوترونان ناشئان عن انشطار نواة يورانيوم فى الكتلة اليسرى الى
الملطف ، وتنخفض سرعتهم تدريجيا عبر سلسلة من الاصطدامات مع الأنوية
وعندما يصل هذان النيوترونان الى كتل يورانيوم أخرى تنخفض سرعتهم الى
حد كبير ويقعان فى أسر نواة U-235 ، وهى اكبر كفاءة بكثير فى اقتناص
النيوترونات البطيئة عن انوية U-238

وهكذا فانه بالبداية بالعنصر الطبيعي القابل للانشطار U-235
واجراء التفاعل فى دورات يمكننا ، سيما من حيث المبدأ ، أن نحول الامداد
الكلى باليورانيوم الطبيعى والثوريوم الى نواتج قابلة للانشطار يمكن
استخدامها كمصادر مكثفة للطاقة النووية .

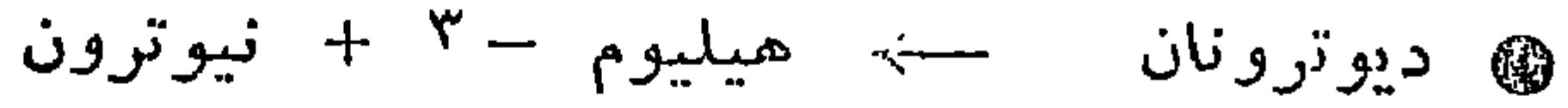
وسوف نختتم هذا الجزء بتقدير تقريبي لاجمالى الطاقة المتاحة للتنمية
السلمية ، أو التدمير العسكرى الذاتى مستقبلا فقد قدر أن اجمالى
U-235 الموجود فى المناجم المعروفة حاليا لهذا الخام قد يوفر قدرا من
الطاقة النووية يكفى للوفاء بمتطلبات الصناعة العالمية (بعد تحويلها
بالكامل الى طاقة نووية) لبضعة أعوام . ومع ذلك اذا وضعنا فى الحسبان
امكانية استخدام U-238 بعد تحويله الى بلوتونيوم ، فان التقدير
الزمنى يقفز الى بضعة قرون . وبالتحول الى مناجم الثوريوم (بتحويله
الى ^{235}U) وهى أوفر بأربع أضعاف من اليورانيوم نجد أن هذا التقدير
يمتد الى أبعد بكثير ويصل الى ألفى عام على الأقل ، وهى فترة كافية لجعل
كل مشاعر القلق من « أزمة الطاقة الذرية فى المستقبل » أمرا لا مبرر
له .

ومع ذلك فاذا تم استخدام كافة مصادر اليورانيوم والثوريوم ولم
تكتشف مناجم أخرى جديدة ، فان الأجيال القادمة سوف تستطيع الحصول
على طاقة نووية من الصخور العادية . والواقع أن اليورانيوم والثوريوم
مثلهما مثل جميع العناصر الكيميائية توجدان عمليا بكميات ضئيلة فى
أى مادة عادية . ولذا فان صخرة الجرانيت العادية تحتوى على ٤ جرام
من اليورانيوم و ١٢ جراما من الثوريوم لكل طن . وتبدو هذه الكميات
الأول وهلة ضئيلة جدا ولكن هيا نجرى بعض العمليات الحسابية :

نحن نعلم أن كل كيلوجرام من المواد القابلة للانشطار يحتوى على
طاقة تساوى طاقة ٢٠٠٠٠ طن من مادة تى.ان.تى عند الانفجار (كما فى
القنبلة الذرية) ، أو حوالى ٢٠٠٠٠ طن من الجازولين عند استخدامه
كوقود . ولذا فان ١٦ جراما من اليورانيوم والثوريوم وهى الكمية الموجودة
فى طن من الجرانيت تعادل ٣٢٠ طنا من الوقود العادى اذا تحولت الى
مادة قابلة للانشطار . ويكفى هذا ليبرر جميع جهود الفصل المعقدة -
ولا سيما اذا وجدنا أن مناجم الفحم الغنية توشك على النفاذ .

وبالتغلب على مشكلة تحرير الطاقة من أنوية العناصر الثقيلة
كاليورانيوم ، اتجه الفيزيائيون اتجاهها عكسيا الى عملية الاندماج النووى
المعروفة ، حيث تندمج نواتا عنصرين خفيفين لتكوين نواة أثقل محررة
بذلك كما كبيرا من الطاقة أيضا . وكما سنرى فى الفصل الحادى عشر
أن شمسنا تستمد طاقتها من عملية الاندماج حيث تتحد أنوية الهيدروجين

العادية لتعطي في النهاية نواة الهيليوم الأثقل ، نتيجة للاصطدامات الحرارية العنيفة داخل الشمس . ويعتبر الهيدروجين الثقيل (الديوتيريوم) أفضل العناصر لتغذية عمليات التضاعف المستمر للتفاعلات النووية الحرارية للأغراض الانسانية . وتحتوى نواة الديوتيريوم وتسمى « بالديوترون » على بروتون واحد ونيوترون واحد ، وعند اصطدام ديوترونين يحدث أحد التفاعلين الآتين :



ويتم هذا التحول في درجات حرارة تصل الى مئات الملايين .

وتعتبر القنبلة الهيدروجينية أول اختراع بنى على الاندماج النووى وفيها يتم تحفيز تفاعل الديوتيريوم بانفجار قنبلة انشطار . ومن المشكلات الأعقد من ذلك بكثير : **التفاعل النووى الحرارى القابل للتحكم** ، وهو اذا تم يوفر كميات هائلة من الطاقة للأغراض السلمية .

ويمكن التغلب على المشكلة الرئيسية - وهى محاصرة الغاز الرهيب السخونة - باستخدام مجالات مغناطيسية قوية تمنع الديوترونات من لمس جدران الحاويات (الأوعية) وحصرها فى جزء مركزى ملتهب (ولولا ذلك لانصهرت جدران الأوعية وتبخرت) .

الفصل الثامن

قانون الفوضى

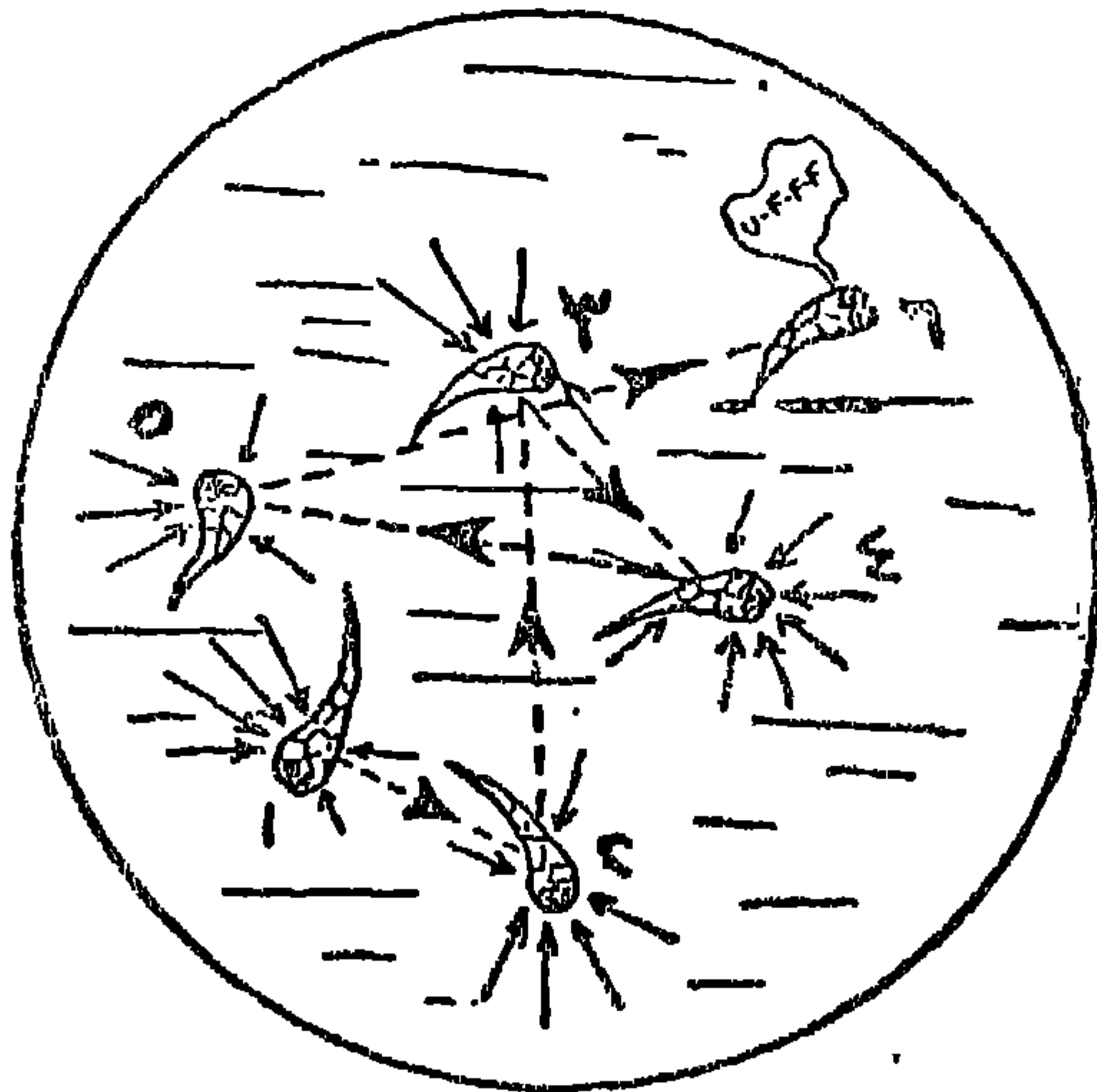
١ - الفوضى الحرارية :

عندما تصب كوبا من الماء وتنظر اليه ، سوف ترى سائلا رائقا متجانسا لا أثر فيه لأى جسم غريب أو حركة من أى نوع (بشرط عدم هز الكوب طبعا) . ومع ذلك فنحن نعرف أن تجانس الماء ليس الا أمرا ظاهريا ، فعند تكبير هذا السائل ملايين المرات سوف نرى بناءا من الجزيئات الواضحة تماما يتمثل فى عدد هائل من الجزيئات المنفصلة المحتشدة معا .

ويتضح تحت نفس التكبير أن الماء ليس ساكنا اطلاقا ، وأن جزيئاته فى حالة حركة صاخبة تمضى فى كل مكان متدافعة كما لو كانت جمهورا من البشر يتدافع فى الزحام . وتسمى هذه الحركة غير المنتظمة لجزيئات الماء ، أو جزيئات أى عنصر آخر بالحرارة أو الحركة الحرارية ، والسبب يرجع ببساطة الى أن هذه الحركة مسئولة عن ظاهرة الحرارة . وذلك لأنه على الرغم من أن حركة الجزيئات فضلا عن الجزيئات نفسها لا ترى بالعين المجردة ، فان هذه الحركة هى التى تصنع توترا معيننا فى الألياف العصبية لأجهزة الانسان وتخلق لديه هذا الاحساس الذى يسمى بالحرارة . وتؤثر الحركة الحرارية على الأنظمة الحية الأصغر (مثل البكتيريا المعلقة فى قطرة ماء) تأثيرا أشد من تأثيرها على الانسان . اذ تركل الجزيئات الغاضبة هذه المخلوقات الضعيفة وتدفعها ، وتدور بها ، وتهاجمها دون أن تترك لها مجالا حتى لالتقاط الأنفاس (شكل ٧٧) . وتعرف هذه الظاهرة العجيبة

باسم « الحركة البراونية » وقد سميت بهذا الاسم تخليدا لعالم النباتات الانجليزى « روبرت براون » الذى كان أول من لاحظها منذ أكثر من قرن من الزمان عند دراسته لبذرة نبات صغير . وهى ظاهرة عامة تلاحظ عند دراسة أى نوع من الجزيئات المعلقة فى سائل بشرط أن تكون صغيرة الى حد كاف ، أو أى جزيئات ميكروسكوبية فى الدخان أو الغبار السابح فى الجو ، فاذا سخنا السائل تزداد الرقصات الصاخبة للجزيئات المعلقة فيه عنفا ، وعند تبريده تقل كثافة الحركة الى حد ملحوظ . وهذا لا يدع مجالاً للشك فى أننا نشاهد أثر الحركة الحرارية التى تحدث فى الماء ، وأن ما نسميه عادة « حرارة » ليس أكثر من قياس لدرجة العنف فى حركة الجزيئات . وقد وجد عند دراسة العلاقة بين الحركة البراونية والحرارة أنه عند درجة (٢٧٣ -) مئوية أو (٤٥٩ -) فهرنهايت تتوقف حركة الماء وتهدأ الجزيئات تماما . ومن الواضح أن هذه هى أقل درجة حرارة ولهذا عرفت باسم « الصفر المطلق » .

ومن السخف أن نتحدث بعد ذلك عن درجات الحرارة الأقل فبديهي أنه لا توجد حركة أبداً من الاسترخاء التام ! .



(شكل رقم ٧٧)

ثلاثة أماكن متعاقبة لخلية بكتيرية تدور تحت تأثير الجزيئات (هذا صحيح نيزيفيا ولكنه غير صحيح تماما بكتريولوجيا) .

وبالاقتراب من الصفر تصبح طاقة جزيئات أى عنصر ضئيلة جدا الى درجة أن قوى التماسك بينها تربطها معا فى كتلة واحدة ، وقصارى

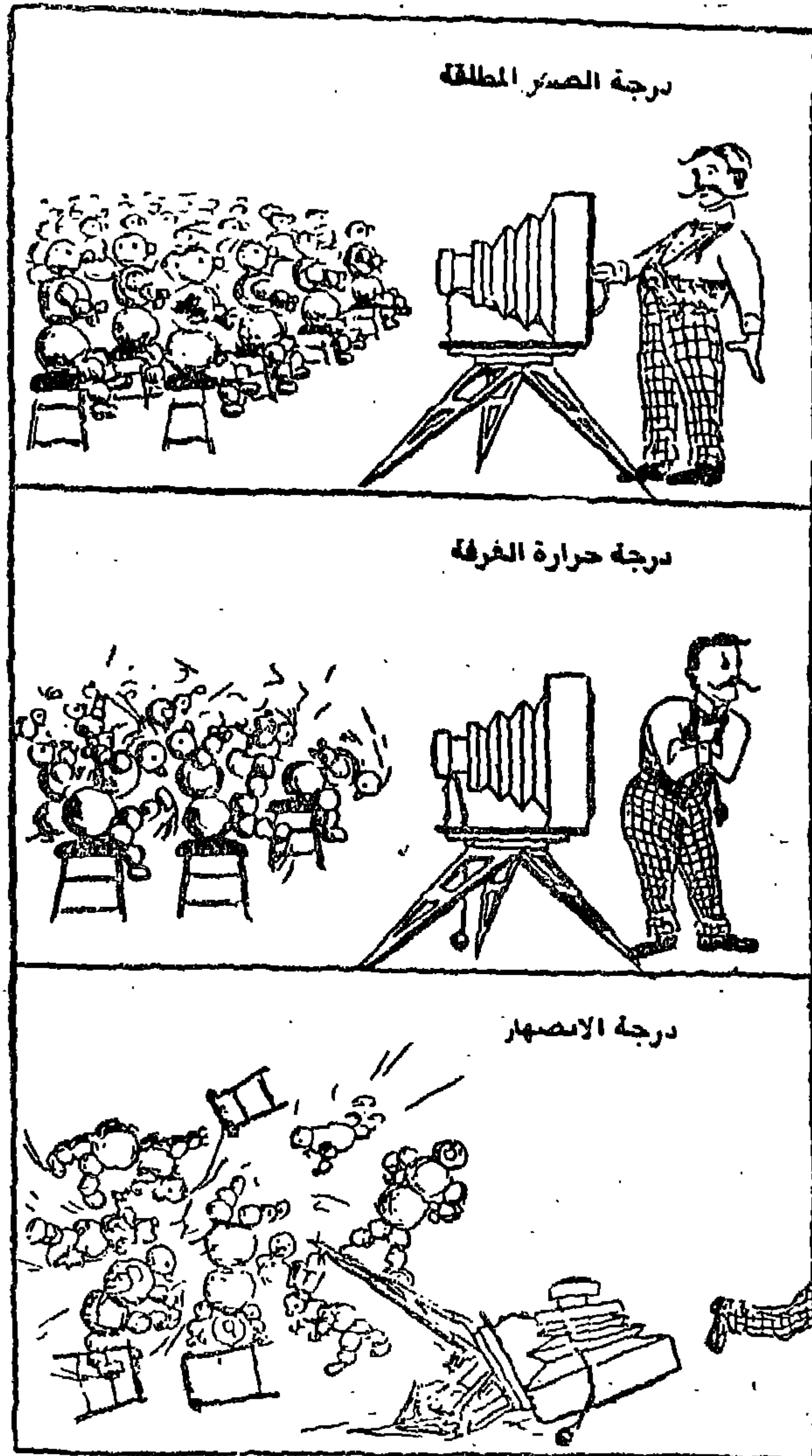
ما يمكن لهذه الجزيئات أن تفعله أن تهتز قليلا في حالة التجمد وعندما ترتفع الحرارة تزداد كثافة الحركة ، وفي مرحلة معينة تكتسب هذه الجزيئات حرية ما في الحركة وتستطيع الانزلاق على بعضها .

وتختفي صلابة التجمد ليتحول العنصر أو المادة الى سائل . وتتوقف الحرارة التي يبدأ عندها الانصهار على شدة قوى التماسك بين الجزيئات . ففي الهيدروجين ، أو خليط النيتروجين والأكسجين مثلا (الهواء الجوى) يكون التماسك بين الجزيئات ضعيفا جدا . وتنكسر حالة التجمد بالصخب الحرارى عند درجات حرارة أقل نسبيا . ولذا فان الهيدروجين لا يوجد في حالة تجمد الا عند درجات الحرارة الأقل من ١٤ درجة مطلقة (*) (أى أقل من (- ٢٥٩) فهرنهايت) ، وينصهر الأكسجين والنيتروجين الصلب عند درجة ٥٥ مطلقة ، و ٦٤ مطلقة على الترتيب (أى - ٢١٨ مئوية ، و - ٢٠٩ مئوية) . وفي المواد الأخرى تزداد قوى تماسك الجزيئات وتبقى على حالتها الصلبة حتى درجات الحرارة العالية ، لذا فان الكحول النقى يظل متجمدا حتى - ١٣٠ درجة مئوية في حين أن الماء المتجمد (الثلج) لا ينصهر الا عند درجة الصفر المئوى . وتبقى مواد أخرى على صلابتها حتى درجات حرارة أعلى . فقطعة الرصاص لا تنصهر الا عند درجة ٢٣٧ مئوية ، والحديد عند ١٥٣٥ مئوية والمعدن النادر المعروف بالأزيموم يبقى على صلابته حتى درجة حرارة ٢٧٠٠ مئوية . وعلى الرغم من أن الجزيئات تظل مقيدة بأماكنها في الحالة الصلبة للمواد ، فان هذا لا يعنى اطلاقا أنها لا تتأثر بالتهيج الحرارى . فالواقع أنه وفقا لقانون الحركة الحرارية الأساسى تكون كمية الطاقة لكل جزيء واحدة في كل العناصر ، صلبة كانت أم سائلة أم غازية مهما كانت الحرارة . والفارق الوحيد هنا أنه بينما تكون الطاقة كافية في بعض الحالات لانتزاع الجزيئات من أماكنها الثابتة ودفعها الى القيام بحركة دائرية فانها في حالات أخرى لا تكفى الا لهزها في أماكنها تماما كالكلاب الهائجة المقيدة بالسلاسل .

ويمكن ملاحظة هذه الهزة أو الذبذبة في جزيئات جسم صلب بسهولة في صور أشعة اكس التى ناقشناها في الفصل السابق وقد وجد في الحقيقة أن التقاط صور الجزيئات في نسق بلورى يتطلب وقتا طويلا ، ومن ثم فانها تتحرك من مواقعها لا محالة أثناء التصوير . وهذا الاهتزاز

(*) وينصهر عند نفس الدرجة (المترجم) .

المستمر حول موقع معين لا يساعد جودة التصوير ، ولكنه يؤدي الى طمس الصورة نوعا ما . فحتى نحصل على صورة دقيقة لابد من تبريد البلورات لاقصى درجة ممكنة .



(شكل رقم ٧٨)

ويمكن أن نفعل ذلك أحيانا بتغطيسها في الهواء السائل . ومن جهة أخرى اذا حدث ، وقام شخص بتدفئة البلورات التي سيتم تصويرها

تزداد الصورة انطماسا أكثر وأكثر ، وعند درجة الانصهار تختفى الجزيئات تماما ، اذ أنها تترك مواقعها وتبدأ فى حركة عشوائية فى المادة .

وبعد انصهار المادة الصلبة تظل الجزيئات متحدة ، حيث ان التهييج الحرارى وان كان قويا الى درجة تحريكها من مواقعها المحددة فى النسق البلورى ، الا أنه يظل يظل غير كاف لفصلها عن بعضها تماما . ولكن عند درجات الحرارة الأعلى تعجز قوى التماسك عن الربط بين الجزيئات ولذا تتطاير بعيدا فى جميع الاتجاهات مالم تمنعها الجدران المحيطة بها . من ذلك ، وعند ذلك تتحول المادة طبعاً الى الحالة الغازية وكما فى انصهار الأجسام الصلبة يحدث التبخر عند درجات حرارة تختلف باختلاف المادة ، فتتحول المواد التى تكون قوى التماسك فيها ضعيفة الى بخار عند درجات حرارة أقل من المواد ذات التماسك الأقوى . وفى هذه الحالة تعتمد العملية بصفة أساسية على الضغط الواقع على السائل لأن الضغط الخارجى يساعد قوى التماسك بوضوح فى عملها . ولهذا يغلى الماء كما نعرف جميعاً فى الاناء المغلق باحكام عند درجة حرارة أقل منه فى الاناء المكشوف . ومن جهة أخرى يغلى الماء على قمم الجبال عند درجة أقل من ١٠٠ درجة مئوية حيث يكون الضغط الجوى أضعف بكثير منه على الأرض . وتجدر الإشارة هنا الى أن المرء يستطيع من درجة غليان الماء أن يحسب الضغط الجوى ومن ثم ارتفاع المكان الذى يوجد فيه عن سطح البحر .

ولكن لا تحاول أن تفعل ما فعله « مارك توين » (*) الذى حاول كما قال أن يضع بارومترا معدنيا فى غلاية حساء البازلاء ، فهذا لن يعطيك أى فكرة عن مستوى الارتفاع بالإضافة الى أن أكسيد النحاس سيفسد مذاق الحساء .

وتتناسب درجة حرارة الانصهار لعنصر ما مع درجة غليانه تناسباً طردياً لذا فان الهيدروجين السائل يغلى عند درجة (- ٢٥٣) مئوية ، والأكسجين السائل عند درجة (- ١٨٣) مئوية ، والنيتروجين السائل عند درجة (- ١٩٦) مئوية ، والكحول عند درجة (٧٨) مئوية والرصاص عند (١٦٢٠) مئوية ، والحديد عند درجة (٣٠٠٠) مئوية أما الأوزميوم فلا يغلى الا عند درجات أعلى من ٥٣٠٠ درجة مئوية (١) .

ويتسبب انحلال البناء البلورى الجميل للأجسام الصلبة فى دفع الجزيئات أولاً لأن تسبج حول بعضها وكأنها جسد من الديدان ، ثم تطير متباعدة كما لو كانت سرباً من الطيور المذعورة . على أن هذه الظاهرة

The Prince and

(*) روائى أمريكى وكاتب ساخر من أشهر رواياته

the Pauper توفى عام ١٩١٠ .

(١) القيم المذكورة تصح فقط فى الضغط الجوى العادى .

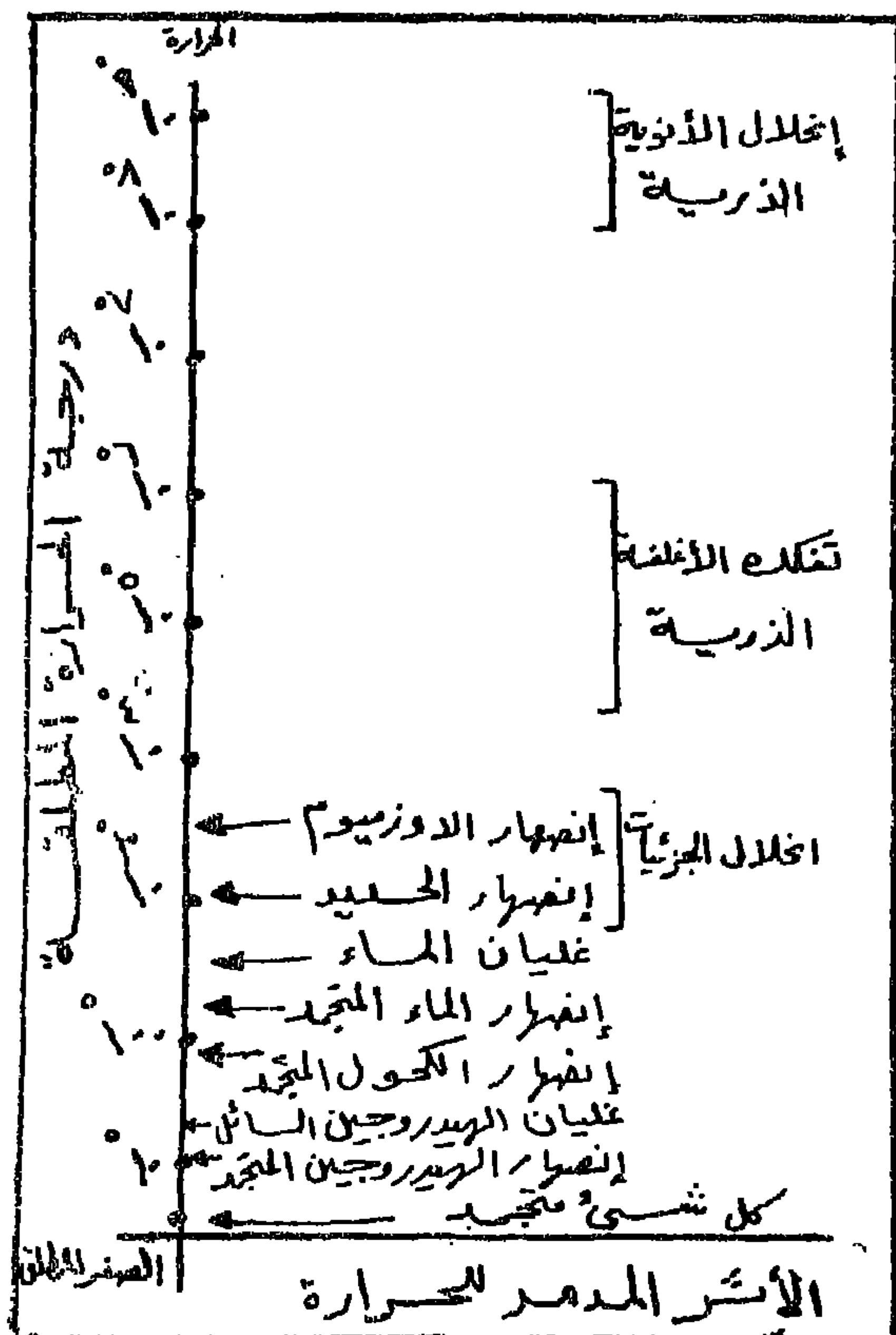
لا تزال قاصرة عن التعبير عن الأثر المدمر مزيادة الحركة الحرارية . وعندما ترتفع درجة الحرارة عن ذلك يشكل هذا تهديدا لوجود الجزيئات نفسها حيث ان العنف المضطرد فى الصدام بين الجزيئات يصبح قادرا على تفتيتها الى ذرات منفصلة . وهذا التفكك الحرارى كما يسمونه يعتمد على القوة النسبية للجزيئات المتعرضة له . فتنحل جزيئات بعض المواد العضوية الى ذرات ، او مجموعات ذرية منفصلة عند درجات تصل فى انخفاضاها الى بضع مئات من الدرجات . على أن موادا أخرى أقوى فى بنائها مثل الماء يستلزم تدميرها ارتفاع درجة الحرارة الى أكثر من ألف . فاذا وصلت الحرارة الى عدة آلاف من الدرجات ، فانها لا تبقى على أى جزئ وتتحول المادة الى خليط غازى من العناصر الكيميائية .

وهذه هى حالة سطح الشمس حيث تصل الحرارة الى ٦٠٠٠ درجة مئوية . وتبقى الجزيئات كما هى فى بعض « النجوم الحمراء » التى تقل حرارتها نسبيا (٢) . وهى حقيقة أثبتها التحليل الطيفى مفادها أن العنف الناتج عن الصدمات الحرارية فى درجات الحرارة المرتفعة لا يفكك الجزيئات الى مكوناتها الأساسية فحسب ولكنه يدمر هذه الذرات نفسها ، بطرد إلكتروناتها الخارجية . ويزداد هذا التآين الحرارى فعالية بارتفاع درجة الحرارة الى عشرات ومئات الآلاف من الدرجات ثم وصولها الى عدة ملايين فوق الصفر . وعند هذه الدرجات الرهيبة من الحرارة ، والتى تعلو على أى درجة يمكن الوصول اليها فى المعامل على الرغم من شيوعها داخل النجوم ولا سيما باطن الشمس - تفنى الذرات ، وتتمزق المدارات الالكترونية ، وتصبح المادة خليطاً من الأنوية والالكترونات الحرة التى تتدافع بعنف عبر الفضاء وتصطدم ببعضها بقوة رهيبة .

ومع ذلك فعلى الرغم من التدمير التام للأجسام الذرية تظل المادة محتفظة بخواصها الكيميائية الأساسية طالما كانت النواة على حالها لا تمس . واذا انخفضت درجة الحرارة تستعيد الأنوية الكتروناتها ويعود تكامل الذرة الى سابق عهده .

وحتى يمكن حدوث التفكك الحرارى التام للمادة ، أى انحلال الأنوية نفسها الى نويات (بروتونات ونيوترونات) ، لابد من ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل على الأقل الى بضعة ملايين من الدرجات . ولا توجد هذه الحرارة المرتفعة حتى بداخل النجوم الملتهبة على الرغم من أنه يبدو أن مثل هذا الارتفاع الحرارى قد وجد بالفعل منذ بلايين السنين عندما كان كوننا لا يزال حديث العهد . ولنا عودة الى هذا السؤال المثير فى آخر فصول الكتاب .

وهكذا نرى أن أثر التهيج الحرارى هو تدمير البناء المحكم للمادة خطوة خطوة ، وهو هذا البناء الذى يعتمد على قانون الكم ، ثم يتحول من بنية رائعة الى كتلة من الجزيئات المتدافعة بعنف ، والتي تصطدم ببعضها البعض دون أى قانون أو نظام واضح .



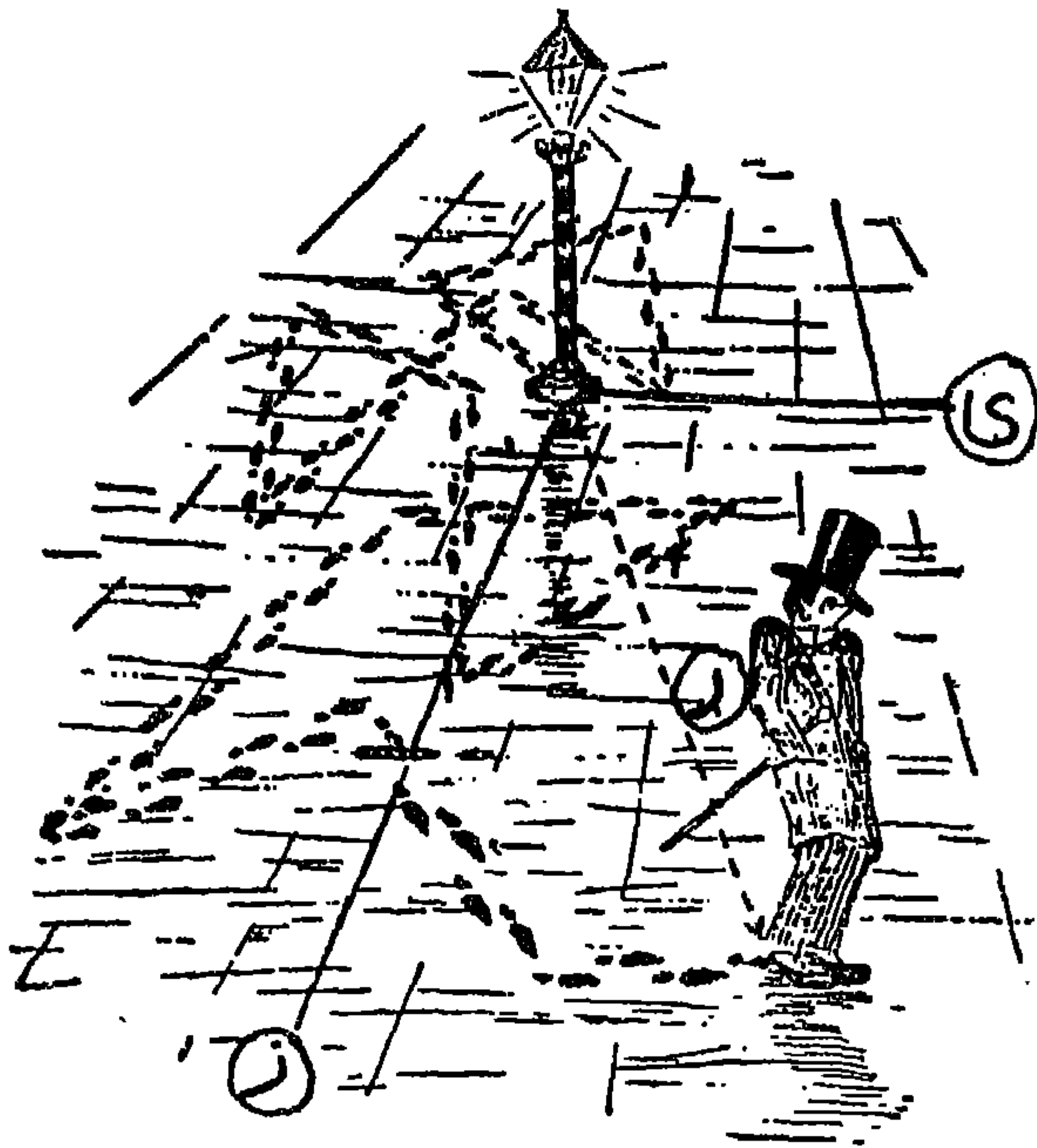
(شکل رقم ۷۹)

٢ - كيف يمكن وصف الفوضى الحركية ؟ :

انه خطأ كبير أن نعتقد أن الحركة الحرارية لا بد وأن تظل خارج نطاق
 أى توصيف طبيعى وذلك بسبب عدم انتظامها . والواقع أن هذه الحقيقة
 بعينها وهى عدم انتظام الحركة الحرارية أبدا يجعلها خاضعة لنوع جديد
 من القوانين ، وهو قانون الفوضى أو الأفضل أن نسميه باسمه المعروف :
 قانون السلوك الاحصائى .

وحتى نفهم العبارة السابقة دعونا نتأمل مسألة مشهورة وهي مشكلة « مسار السكر » . وافترض أننا نراقب سكريرا قد ألقى بجسمه على عامود

انارة وسط ميدان كبير ممهد (لا نعرف كيف أو متى وصل الى هناك) .
ثم قرر السكير فجأة أن يذهب الى مكان غير محدد . ويبدأ في سيره أخذاً
بضع خطوات في اتجاه واحد ثم يضع خطوات في اتجاه آخر وهكذا
مغيراً مساره كل بضع خطوات بصورة لا يمكن التنبؤ بها
اطلاقاً (شكل ٨٠) . فكم يبعد صاحبنا عن عامود النور بعد أن
قطع فرضاً مائة مرحلة ضمن رحلته المتعرجة غير المنتظمة ؟ وربما
تعتقد لأول وهلة أن هذا السؤال لا يمكن اجابته لعدم القدرة على تحديد
كل انحراف في السير أو التنبؤ به . ولكننا بقليل من امعان النظر نجد
أن رغم استحالة التنبؤ بمكان الرجل في نهاية رحلته ، الا أننا نستطيع
الاجابة عن السؤال الخاص بالمسافة المحتملة بينه وبين عامود الانارة
بحساب عدد ما من مراحل السير . وحتى يمكن تناول هذه المسألة
بأسلوب رياضي بحت علينا أن نرسم محوري احداثيات أصلهما هذا
العامود : بحيث يكون المحور (ز) آت في اتجاهنا والمحور (ي) على
يميننا ، و (ر) بعد السكير عن العمود بعد اجمالي (ن) شوطاً متعرجاً
(وهي ١٤ شوطاً في شكل ٨٠) والآن اذا كان كل من (زن) و (ين)
هما إسقاطان للمرحلة ن على المحورين المقابلين ، فان نظرية فيثاغورث
يعوض عنها كالتالي :



(شكل رقم ٨٠)

مسار السكير

$$و^2 = (ز_1 + ز_2 + ز_3 + \dots + ز_n)^2 + (ي_1 + ي_2 + ي_3 + \dots + ي_n)$$

ي_ن) حيث قيم ي ، ز سالبة وموجبة وفقا لاتجاه السير من العمود واليه في مرحلة ما من سير السكير . ولاحظ أنه ما دامت حركته عشوائية تماما فسوف يكون عدد قيم ز ، ي الموجبة مساويا لقيمها السالبة . وعند حساب القيم التربيعية للحدود بين الأقواس وفقا لقواعد الجبر الأولية ينبغي أن نضرب كل حد في الأقواس في نفسه وفي جميع الحدود الأخرى لذا فان :

$$(ز_1 + ز_2 + ز_3 + \dots + ز_n)$$

$$= (ز_1 + ز_2 + ز_3 + \dots + ز_n) (ز_1 + ز_2 + ز_3 + \dots + ز_n)$$

$$= ز_1^2 + ز_2^2 + ز_3^2 + \dots + ز_n^2 + 2 ز_1 ز_2 + 2 ز_1 ز_3 + \dots + 2 ز_1 ز_n + 2 ز_2 ز_3 + \dots + 2 ز_2 ز_n + \dots + 2 ز_{n-1} ز_n$$

ويتضمن هذا المقدار الكبير مربع جميع قيم ز (ز₁ ، ز₂ ، ... ز_ن) بالإضافة الى « حاصل الضرب المختلط » ز₁ ز₂ ، ز₂ ز₃ .. الخ (ز_ن / 2) ،

وحتى هذه الخطوة نحن لا نزال في مجال الحسابات البسيطة ، والآن فننتقل الى نقطة احصائية وهي عدم انتظام سير السكير ، وحيث انه يتحرك حركة عشوائية تماما بحيث يحتمل أن تكون خطواته في اتجاه العمود أو عكس هذا الاتجاه بنفس القدر ، اذن فان القيمة ز اما سالبة أو موجبة بنسبة خمسين في المائة وبالتالي اذا نظرت في « حواصل الضرب المختلط فيحتمل دائما أن تجد أزواجا من نفس القيمة عدديا ، ولكنها مختلفة في الإشارة وبذا يلغى بعضها بعضا ، وكلما زاد عدد مراحل الطريق كلما كان احتمال التعويض أكبر . عندئذ تبقى مربعات القيم ز فالمربع موجب دائما ، وبذلك يمكن كتابة المعادلة كالآتي :

$$ز_1^2 + ز_2^2 + \dots + ز_n^2 = ن ز^2$$

حيث ز هي متوسط الطول لاسقاط مرحلة من خط السير المتعرج على المحور (ز) . وينطبق نفس الشيء على القوس الثاني (ي₁ + ي₂ + ...) الذي يمكن اختزاله الى (ي_ن) حيث ي متوسط اسقاط المرحلة على المحور (ي) .

وهنا يجب أن نكرر أن ما قمنا به ليس مجرد عملية جبرية ، ولكننا نستند الى فكرة احصائية أيضا وهى : التعويض بين (حواصل الضرب المختلط) نتيجة الطبيعة العشوائية لسير السكر . ومن ثم يكون أقوى الاحتمالات لبعده عن العمود ممثلا فى المقدار : $r = \sqrt{(z^2 + y^2)}$ ن أو

$$r = \sqrt{z^2 + y^2}$$

ولما كان متوسط مسقط المرحلة على المحورين يرسم خطا مستقيما يميل بزاوية 45° لذا فان $\sqrt{z^2 + y^2}$ هو (وهذا أيضا من نتائج نظرية فيثاغورث) يساوى ببساطة متوسط طول المرحلة ، فاذا عوضنا عنها بقيمة ولتكن (١) نحصل على :

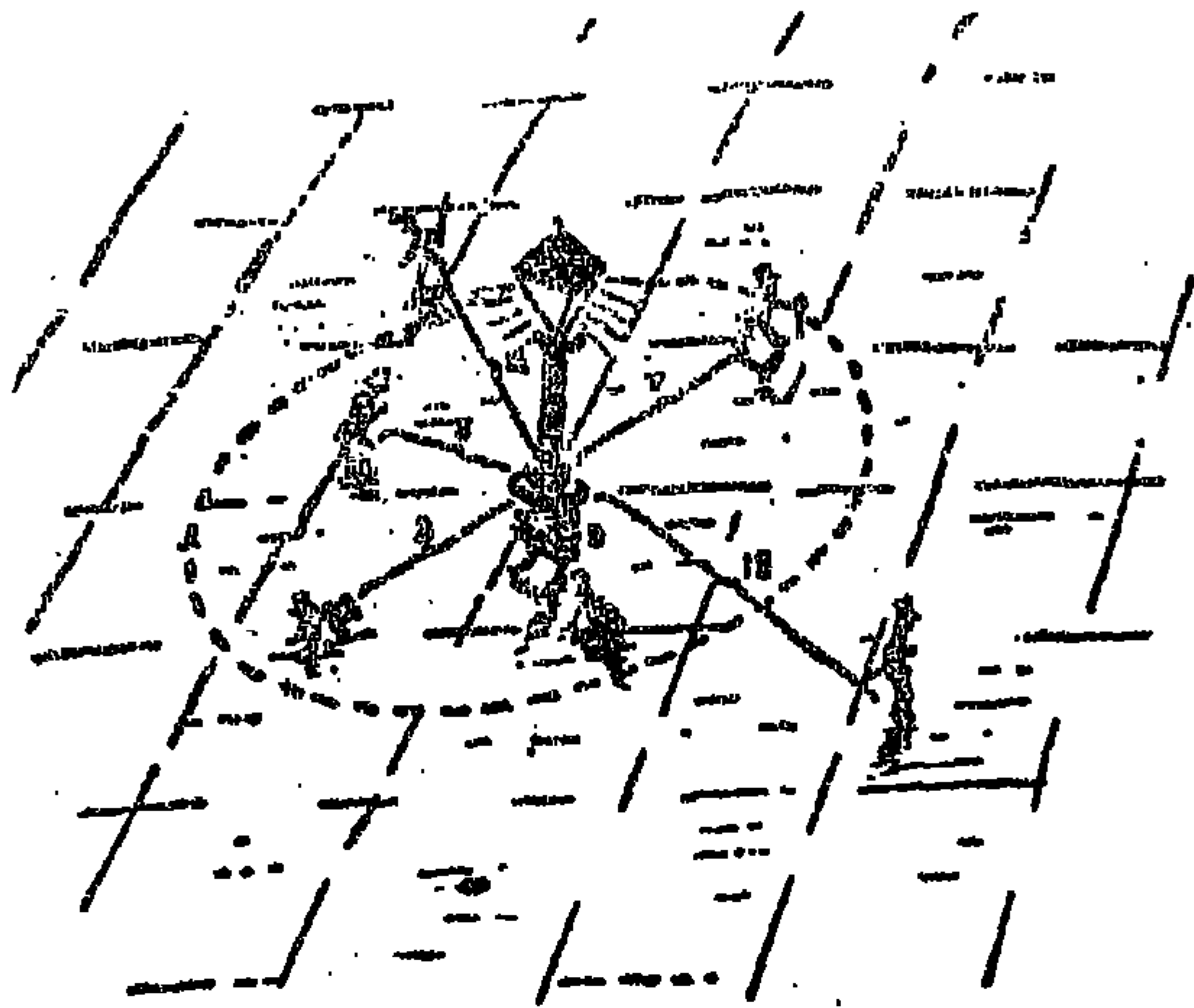
$$r = \sqrt{z^2 + y^2}$$

وبعبارة أوضح نقول ان هذه النتيجة معناها : ان أقوى احتمال لبعد السكر عن العمود بعد عدد كبير ما من الاستدارات العشوائية يساوى الطول المتوسط لكل المراحل المستقيمة التى يمشيها ، مضروبا فى الجذر التربيعى لعدد هذه المراحل .

لذا فاذا كان الرجل يمشى فى كل مرة ياردة واحدة قبل أن يستدير (بزاوية غير معروفة سلفا !) فلن يزيد بعده على أرجح تقدير عن ١٠ ياردات من عمود الانارة بعد أن يمشى مسافة مقداره ١٠٠ ياردة . واذا لم يستدر وسار فى خط مستقيم فسيبعد بمقدار مائة ياردة وهذا يوضح مدى الفائدة التى تجنيها من الاتزان فى السير .

ان الطبيعة الاحصائية للمثال السابق لا تظهر الا عند الحديث عن البعد الأكثر احتمالا ، وليس البعد بالضبط فى كل حالة على حدة . وفى حالة فرد سكر قد يحدث ، رغم عدم احتمالية ذلك ، أن هذا السكر لا يستدير أبدا ، وان يمشى بدءا من العمود فى خط مستقيم . وربما يحدث أيضا أن يستدير بمقدار 180° درجة مثلا بحيث يواجه العمود بعد كل ثانى استدارة . ولكن اذا بدأ عدد كبير من السكرى سيرهم من نفس عمود الكهرباء فى مسارات متعرجة دون التداخل مع بعضهم ، ستجد بعد وقت كاف أنهم قد انتشروا على مساحة معينة حوله ، بحيث يمكن حساب بعدهم المتوسط عن العمود بتطبيق القاعدة السابقة . وتجد فى شكل ٨١ مثالا على هذا الانتشار الناتج عن حركتهم غير المنتظمة ، حيث قمنا بدراسة حركة ستة سكرى سائرين . وبديهي أنه كلما زاد العدد كلما زاد عدد الاستدارات التى يقومون بها أثناء سيرهم غير المنتظم ، وكلما زادت دقة القاعدة .

والآن استبدل بالسكارى بعض الأجسام الميكروسكوبية مثل بذور النبات (أو البكتيريا المعلقة في سائل ، وسترى نفس الصورة التي رآها عالم النباتات « براون » تحت الميكروسكوب . وحقيقى أن البكتيريا أو البذور ليست سكارى ، ولكن كما أشرنا من قبل أنها تركل فى جميع الاتجاهات الممكنة بسبب الجزيئات المحيطة بها والداخلة فى الحركة الحرارية ، وهى بالتالى مدفوعة الى اتباع نفس المسارات المتعرجة تماما كالسكير الذى يفقد السيطرة على حواسه تحت تأثير الكحول .



(شكل رقم ٨١)

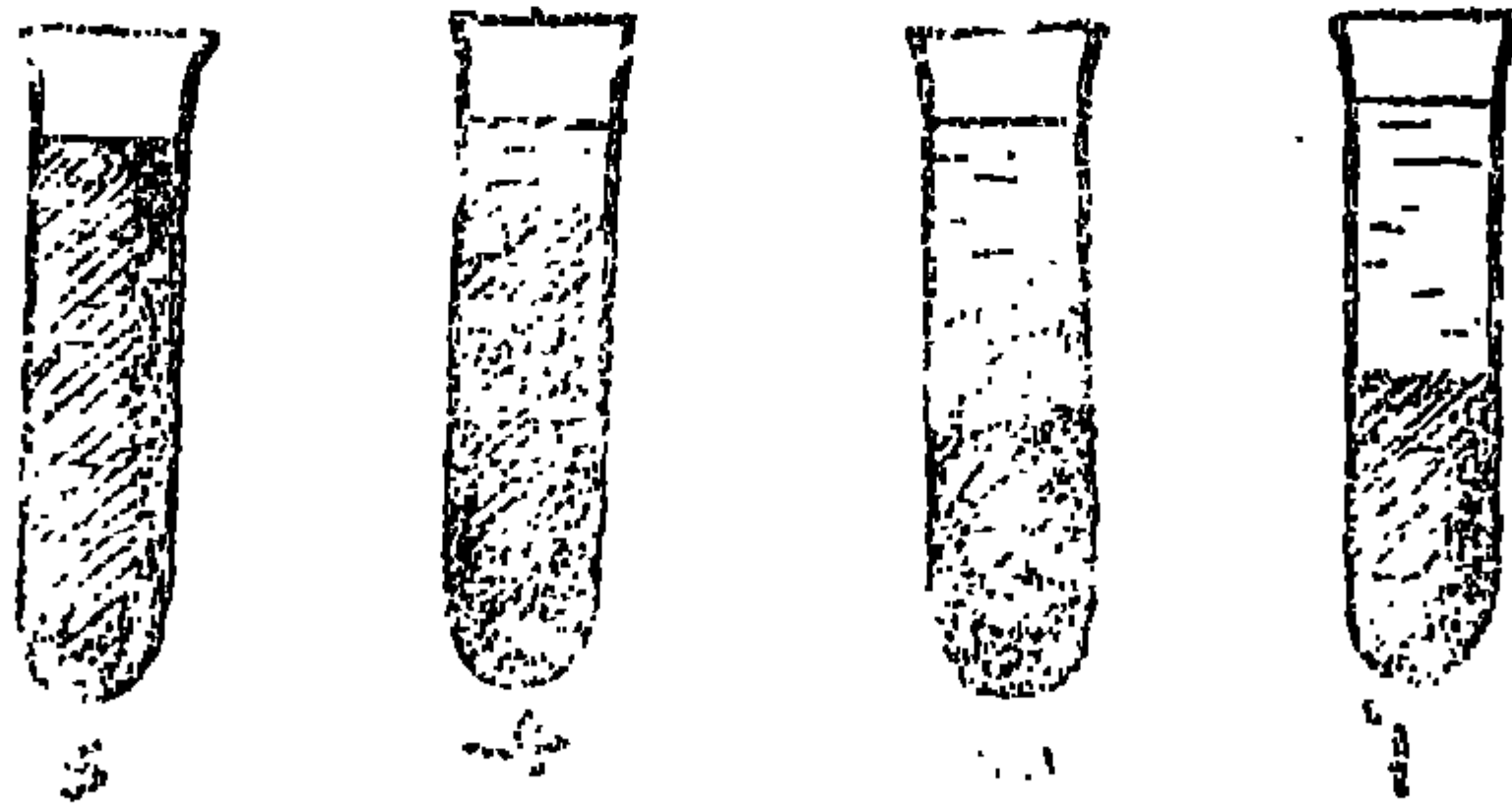
انتشار أو توزيع احصائى لسته من السكارى حول عامود انارة .

واذا ما راقبت الحركة البراونية لعدد كبير من الجسيمات المعلقة فى قطرة ما باستخدام الميكروسكوب ، ستركز انتباهك فى مجموعة معينة منها ، وهى التى تكون فى ذلك الوقت مركزة فى مساحة صغيرة معينة (قرب « عامود الانارة ») . وستلاحظ انه مع الوقت سوف يزداد انتشارها فى مجال الرؤية ، وأن بعدها المتوسط عن نقطة الأصل يزيد بما يتناسب مع الجذر التربيعى للفترات الزمنية ، كما يفهم من القانون الرياضى المستخدم فى حساب المسافة التى يسيرها السكير .

وينطبق نفس القانون طبعاً على كل جزيء منفصل فى قطرة الماء ، بيد أنك لا تستطيع رؤية الجزيئات منفصلة عن بعضها ، وحتى ان استطعت فلن تستطيع أن تميزها عن بعضها . وحتى يمكن تمييز هذه الحركة يجب على المرء استخدام نوعين مختلفين من الجزيئات وليكن اختلافهما فى اللون مثلاً . وهكذا يمكن أن نملاً نصف أنبوبة اختبار بمحلول مائى لبرمنجنات

البوتاسيوم الذى يكسب الماء لونا ارجوانيا زاهيا . فاذا صببنا بعد ذلك بعض الماء النقى عليه مع مراعاة عدم الخلط بين الطبقتين ، سنشاهد أن اللون يتخلل الماء الرائق بالتدريج . فاذا انتظرت مدة كافية تجد أن كل الماء من قاع الانبوبة حتى سطحها يصبح لونه موحدا . وهذه الظاهرة مألوفة للجميع وتعرف باسم ظاهرة الانتشار ، وترجع الى الحركة الحرارية غير المنتظمة للصبغة بين جزيئات الماء . وعلينا أن ننظر كل جزيء من برمنجنات البوتاسيوم باعتباره سكيلا صغيرا ينساق ذهابا وايابا تحت التأثير المستمر للجزيئات الأخرى عليه .

وحيث ان الجزيئات تحتشد بجانب بعضها بقوة فى الماء (على العكس من ترتيبها فى الغاز) ، فان متوسط السير الحر لكل جزيء بين كل صدامين متتاليين يكون قصيرا للغاية اذا لا يزيد عن حوالى 10^{-8} بوصة . وحيث ان الجزيئات تتحرك فى درجة حرارة الغرفة بسرعة مقدارها حوالى ١٠ ميكرون فى الثانية ، فانها تستغرق 10^{-12} ثانية فحسب بين كل اصطدامين . لذا فانه فى فترة الثانية الواحدة يتعرض كل جزيء من الصبغة لحوالى 10^{12} اصطداما متواليا ، كما أنها تغير اتجاهها نفس هذا العدد من المرات . وتكون المسافة المقطوعة أثناء الثانية الاولى 10^{-8} بوصة (طول السير الحر) مضروبة فى الجذر التربيعى لـ 10^{12} . ويعطى هذا سرعة انتشار متوسطة مقدارها ٠.١ بوصة/ث (*) . وهو معدل بطيء نوعا بالنظر الى أنه لولا الانحرافات الناشئة عن الصدام لكان بعد نفس الجزيء ١ ميكرون ! . فاذا انتظرت ١٠٠ ثانية ، سيكون الجزيء قد شق طريقه عبر مسافة تزيد على ذلك ١٠ مرات ($\sqrt{100} = 10$) ، وبعد ١٠٠٠٠ ثانية أى حوالى ٣ ساعات . سوف يكون الانتشار قد حمل اللون الى مسافة أبعد ١٠٠ مرة ($\sqrt{10000} = 100$) أى على بعد بوصة واحدة . نعم ان عملية الانتشار عملية بطيئة ، فعندما تضع قطعة من السكر فى كوب الشاي ، فمن الأفضل أى قلبه بدلا من انتظار انتشار جزيئات السكر فى الكوب نتيجة لحركتها .



(شكل رقم ٨٢)

(*) أى حوالى ٠.٣ ملم/ث تقريبا (المترجم) .

وهناك مثال آخر نقدمه لك على عملية الانتشار ، وهي إحدى أهم العمليات في فيزياء الجزيئات ، فتعال نتأمل في انتشار الحرارة في سبيخ حديدى أحد طرفيه موضوع فى مدفأة ، وبالحبرة تعرف أن ارتفاع درجة حرارة الطرف الآخر للسبيخ مما يتعذر معه الإمساك به تستغرق وقتا طويلا جدا . ولكن ربما كنت لا تعلم أن الحرارة تنتقل فى هذه العصا المعدنية بعملية الانتشار الإلكتروني . نعم ان سبيخ الحديد العادى مملوء فعلا بالالكترونات مثله مثل أى جسم معدنى آخر . والفارق بين المعادن وغيرها من المواد كالزجاج مثلا ، هو أن ذرات المعادن تفقد بعض إلكتروناتها الخارجية التى تنتقل بين أجزاء النسق المعدنى مشاركة فى حركة حرارية غير منتظمة تشبه كثيرا جزيئات أى غاز عادى .

وتحول القوى السطحية على حدود قطعة معدنية بين هذه الإلكترونات وبين الانفلات (٣) ، ولكن حركتها داخل المادة تكاد تكون حرة تماما . فإذا سرت قوة الكهرباء فى سلك معدنى اندفعت الإلكترونات الحرة مباشرة فى اتجاهها مما يؤدى الى ظهور التيار الكهربى .

لكن اللافلزات ، من ناحية أخرى ، تعتبر بصفة عامة عوازل جيدة لأن جميع إلكتروناتها تكون مقيدة الى الذرات ولهذا لا تكون لها حرية الحركة .

وعند وضع أحد طرفى الساق المعدنية فى النار ، تزداد الحركة الإلكترونية للإلكترونات الحرة فى هذا الجزء الى درجة كبيرة ، وتبدأ الإلكترونات السريعة فى الانتشار فى المناطق الأخرى حاملة معها الطاقة الحرارية الزائدة . وتشبه هذه العملية حركة جزيئات الصبغة خلال الماء تماما فيما عدا أنه بدلا من وجود نوعين من الجسيمات (جزيئات الماء ، وجزيئات الصبغة) يكون لدينا هنا انتشار للغاز الإلكتروني الساخن فى المناطق التى يشغلها الغاز الإلكتروني البارد . وهنا أيضا ينطبق قانون مشى السكير من حيث ان المسافة التى تقطعها الحرارة بطول ساق معينة تتناسب طرديا مع الفترات الزمنية للانتشار .

وبانتهاء المثال الأخير على الانتشار سنتعرض الى حالة ذات أهمية كونية فى الفصول القادمة . فحرارة الشمس تتولد على أعماق بعيدة فى باطنها نتيجة تحولات كيميائية للعناصر ثم تتحرر الطاقة الحرارية على شكل اشعاع كثيف . وتبدأ « جزيئات الضوء » أو الكم الضوئى فى رحلة

(٣) عند رفع درجة حرارة سلك معدنى الى درجة عالية تصبح الحركة الحرارية للإلكترونات داخلية أكثر عنفا وتفلت من سطح السلك . ويستفاد بهذه الظاهرة فى الصمامات الإلكترونية وهى معروفة لكل هواة اللاسلكى .

طويلة من باطن الشمس حتى سطحها . ولما كان الضوء ينتقل بسرعة ٣٠٠ ٠٠٠ كم/ث ، ونصف قطر الشمس يبلغ حوالى ٧٠٠ ٠٠٠ كم فان كم الضوء لا يستغرق أكثر من ثانيّتين فى الخروج بشرط عدم انحرافه فى السير عن الخط المستقيم . ومع ذلك فان هذا بعيد عن الواقع ، حيث يتعرض هذا الكم فى سيره الى عدد لا يحصى من الصدمات مع ذرات والكترونات مادة الشمس . ويبلغ طول المسار الحر للكم الضوئى فى المادة الشمسية حوالى ١ سنتيمتر (وهو أطول بكثير من المسار الحر للجزيء !) وحيث ان نصف قطر الشمس يساوى 7×10^{10} سم (*) فلا بد أن هذا الكم يقطع $(7 \times 10^{10})^2$ أو 5×2110 خطوة ثملة حتى

١

يصل الى السطح . وحيث ان كل خطوة تستلزم وقتا قدره

$$3 \times 10^{10}$$

أو 3×10^{11} ثانية فان اجمالى زمن الرحلة يساوى 3×10^{11} أو $5 \times 2110 = 105 \times 10^{10}$ ث ، أو حوالى ٥٠٠٠ سنة !! ومرة أخرى نرى مدى بطء عملية الانتشار . فالضوء يستغرق ٥٠ قرنا فى رحلته من مركز الشمس الى سطحها ، فى حين أنه بعد خروجه الى الفضاء الكوكبى ، والتحرك فى خط مستقيم يغطى المسافة بين الشمس والأرض بالكامل فيما لا يزيد عن ثمان دقائق ! .

٣ - حساب الاحتمالات :

ما عملية الانتشار الا مثال تطبيقى بسيط على قانون الاحصاء الاحتمالى (بالنسبة للحركة الجزيئية) . وقبل الاستطراد فى المناقشة ، والتعرض لقانون التعادل البالغ الأهمية ، اذ يتعرض لقواعد السلوك الحرارى لجميع الأجسام المادية سواء أكانت قطيرة من سائل أم الكون النجمى العظيم - يجب أولا أن نستزيد من العلم بطرق الاحصاء الاحتمالى للأحداث البسيطة والمركبة .

ولا يزال أشهر الأمثلة على حساب الاحتمالات حتى الآن محصور فى القاء العملة . ونعلم جميعا أن فرص الحصول على أى الوجهين عند القاء العملة (دون غش) متساوية . وعادة نقول أن فرصة الحصول على الوجه أو الكتابة هى ٥٠٪ ، ولكن من المتعارف عليه فى الرياضيات أن نقول ان الفرص هى $\frac{1}{2} : \frac{1}{2}$ ، فاذا جمعنا الفرضين نحصل على $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$.

(*) أى ٧٠٠٠ بليون متر تقريبا (المترجم) .

ان الواحد في نظرية الاحتمالات يعنى اليقين ، فالواقع أنك متأكد تماما ان لقاء العملة سيؤدي الى ظهور اما الوجه واما الكتابة مالم تتدحرج مخفية خلف أريكة دون أن تترك أثرا .

والآن افرض أنك ألقيت بالعملة مرتين متتاليتين ، أو ألقيت عملتين في نفس الوقت ، والأمر سياتي . وسيتضح لك بسهولة أن ٤ احتمالات تظهر في شكل (٨٣) .

ففي الحالة الأولى تحصل على وجهين ، وفي الحالة الأخيرة تحصل على الكتابة مرتين ، أما الحالتين الأخرين فنتيجتهما واحدة إذ أن الترتيب غير مهم (سواء في العملتين أو في واحدة) . وهكذا تقول ان احتمال الحصول على وجهين هو واحد من ٤ أو $\frac{1}{4}$ ، وكذا احتمال الحصول على الكتابة مرتين . أما الحصول على وجه وكتابة فاحتماله ٢ من ٤ أو $\frac{1}{2}$. ومرة أخرى نحسب $\frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 1$ وهكذا يعنى أنك واثق من الحصول على إحدى صور التباديل السابقة .



٤ تباديل ممكنة عند لقاء عملتين

والآن لنرى ما يحدث عند لقاء العملة ثلاث مرات . وهناك اجمالاً ٨ احتمالات يلخصها الجدول التالي :

الرمية الأولى :	و	و	و	و	ك	ك	ك	ك
الرمية الثانية :	و	و	ك	ك	و	و	ك	ك
الرمية الثالثة :	و	ك	و	ك	و	ك	و	ك
	(١)	(٢)	(٢)	(٣)	(٢)	(٣)	(٣)	(٤)

وبدراسة هذا الجدول تجد أن هناك فرصة واحدة للحصول على ثلاثة وجوه ، وكذا بالنسبة للحصول على كتابة ثلاث مرات ، وتنقسم الاحتمالات الباقية بالتساوى بين الوجه مرتين والكتابة مرة - والكتابة مرتين والوجه مرة ، باحتمال $\frac{3}{8}$ لكل حدث .

ثم يتسع جدول الاحتمالات بسرعة ، ولكن دعنا نكتفى بخطوة واحدة .
بالبقاء العملة ٤ مرات ، فيكون لدينا ١٦ احتمالا :

الرمية الأولى : و و و و و و و و و و و و و و و و
الرمية الثانية : و و و و و و و و و و و و و و و و
الرمية الثالثة : و و و و و و و و و و و و و و و و
الرمية الرابعة : و و و و و و و و و و و و و و و و
١ ٢ ٣ ٢ ٣ ٣ ٤ ٢ ٣ ٣ ٤ ٣ ٣ ٤ ٤ ٥

وهنا نجد احتمالا قدره $\frac{1}{16}$ للحصول على الوجه ٤ مرات ونفس الاحتمال بالضبط للحصول على كتابة ٤ مرات . أما الحصول على الوجه ثلاث مرات والكتابة مرة أو العكس فيكون احتمالهما $\frac{1}{8}$ أو $\frac{1}{4}$ لكل منها في حين أن احتمال الحصول على الوجه والكتابة بالتساوى فيكون $\frac{1}{16}$ أو $\frac{3}{8}$.

أما إذا حاولت إجراء عدد أكبر من الرميات فسيتسع الجدول وسرعان ما تجد نفسك وقد تجاوزت الصفحة . فعند عشر رميات مثلا يكون لديك ١٠٢٤ احتمالا مختلفة (أى $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2$) . ولكن هذا الجدول المطول ليس ضروريا على الإطلاق ، طالما أن قانون الاحتمال البسيط يمكن ملاحظته في هذه الأمثلة البسيطة التى سردناها ثم استخدمناها مباشرة فى حالات أكثر تعقيدا .

بادئ ذي بدء ترى أن احتمال الحصول على وجهين يساوى حاصل ضرب احتمال الحصول عليه فى الرمية الاولى ثم فى الثانية حيث $\frac{1}{4} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. وبالمثل احتمال الحصول على الوجه ثلاث أو أربع مرات متتالية هو حاصل ضرب احتمالات الحصول عليه فى كل رمية على حدة : $\frac{1}{8} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ ؛ $\frac{1}{16} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. لهذا إذا سألك أى شخص عن فرص الحصول على وجه كل مرة فى عشر رميات تستطيع ببساطة أن تضرب $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$. وتكون النتيجة ٠.٠٠٠٩٨ وهذا يعنى أن الاحتمال منخفض جدا فى الواقع وهو حوالى ١ فى الألف ! وهنا نصل الى قاعدة « ضرب الاحتمالات » والتى تنص على أنه إذا أردت عدة

أشياء مختلفة ، تستطيع أن تحدد الاحتمال الرياضى للحصول عليها بضرب
الاحتمالات الرياضية لكل منها على حدة .

فإذا كانت هناك أشياء عديدة تريدها ، وكل منها ليس محتملا فى
الواقع فإن فرص الحصول عليها جميعا تكون منخفضة الى درجة تثير
الاحباط ! .

وهناك قاعدة أخرى وهى « جمع الاحتمالات » وتنص على أنه
إذا كنت تريد شيئا واحدا من عدة أشياء (بغض النظر عن هذا الشيء)
فإن الاحتمال الرياضى للحصول عليه هو مجموعة الاحتمالات الرياضية
لكل واحد منها بمفرده .

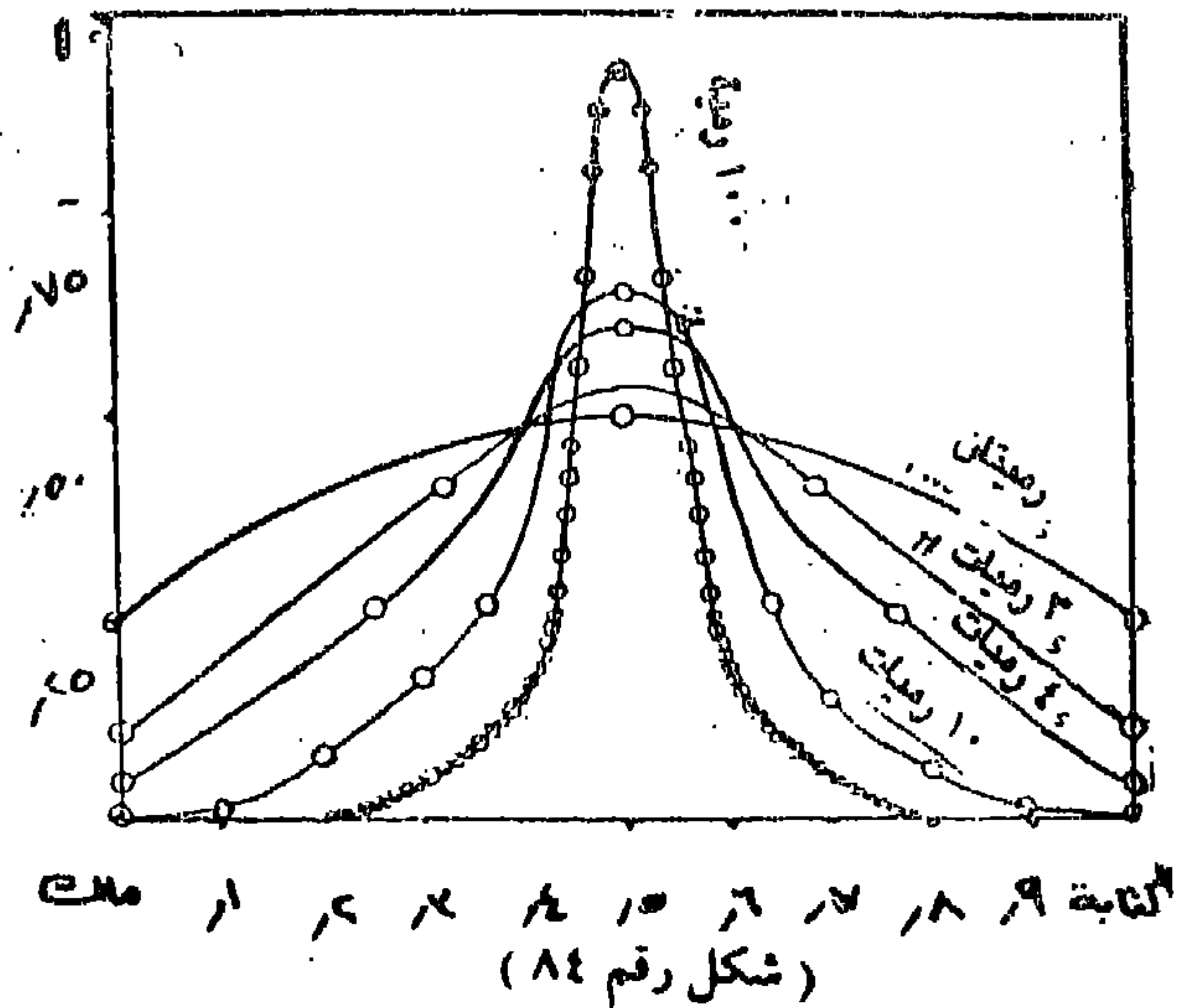
ويمكن ايضا ذلك فى مثال الحصول على تقسيم متساو بين الوجه
والكتابة عند رمى العملة . ان ما تريده الآن فعلا هو اما « الوجوه أولا ،
والكتابات ثانيا » واما « الكتابات أولا ، والوجوه ثانيا » . واحتمال حدوث
واحدة من التوليفتين هو $\frac{1}{4}$ أما احتمال حدوث أى منهما فهو $\frac{1}{4} + \frac{1}{4}$
أى $\frac{1}{2}$. لذا إذا أردت « هذا وهذا وهذا » فأنت تضرب الاحتمالات
المفردة لكل واحد منهم . أما إذا كنت تريد « هذا أو هذا أو هذا »
فأنت تجمع الاحتمالات .

وفى الحالة الأولى تتزايد فرص الحصول على كل شىء تريده مع ازدياد
عدد الأشياء المطلوبة . وفى الحالة الثانية عندما تريد شيئا من عدة أشياء
تزيد فرص الوفاء بحاجتك مع زيادة قائمة الأشياء التى سيتم الاختيار
منها .

ان تجارب رمى العملة توفر لنا مثالا جيدا لمعنى قولنا أن قوانين
الاحتمالات تصبح أكثر دقة عندما يزيد عدد المحاولات . ويوضح هذا
فى شكل ٨٤ الذى يعبر عن احتمالات الحصول على عدد مختلف نسبيا
من الوجوه والكتابات لكل رميتين ، أو ثلاث ، أو أربع أو عشر ، أو مائة .
وهكذا ترى أنه مع زيادة عدد الرميات يصبح منحنى الاحتمال أكثر وأكثر
انحناء وتصبح النهاية العظمى للتوزيع النصفى أكثر وضوحا .

لذا ففى حين أن عدد ٢ أو ٣ أو حتى ٤ مرات تكون فرص الحصول
على الوجه أو الكتابة كل مرة كبيرة ، أما عند الرمي ١٠ مرات فإن حتى
الحصول على ٩٠ فى المائة وجوها أو كتابات يعتبر أمرا بعيدا . وإذا
ما زاد عدد الرميات عن ذلك ، لنقل ١٠٠ أو ١٠٠٠ رمية يصبح منحنى
الاجتمال حادا جدا وكأنه ابرة وتصبح فرص الانحراف البسيط فى هذا
التوزيع النصفى عمليا ، صفر .

والآن لنستخدم قواعد الحساب البسيط ، التي تعلمناها لتونا في حساب الاحتمالات النسبية للتباديل المختلفة التي يحصل عايتها اللاعب في خمسة أوراق في لعبة البوكر الشهيرة .



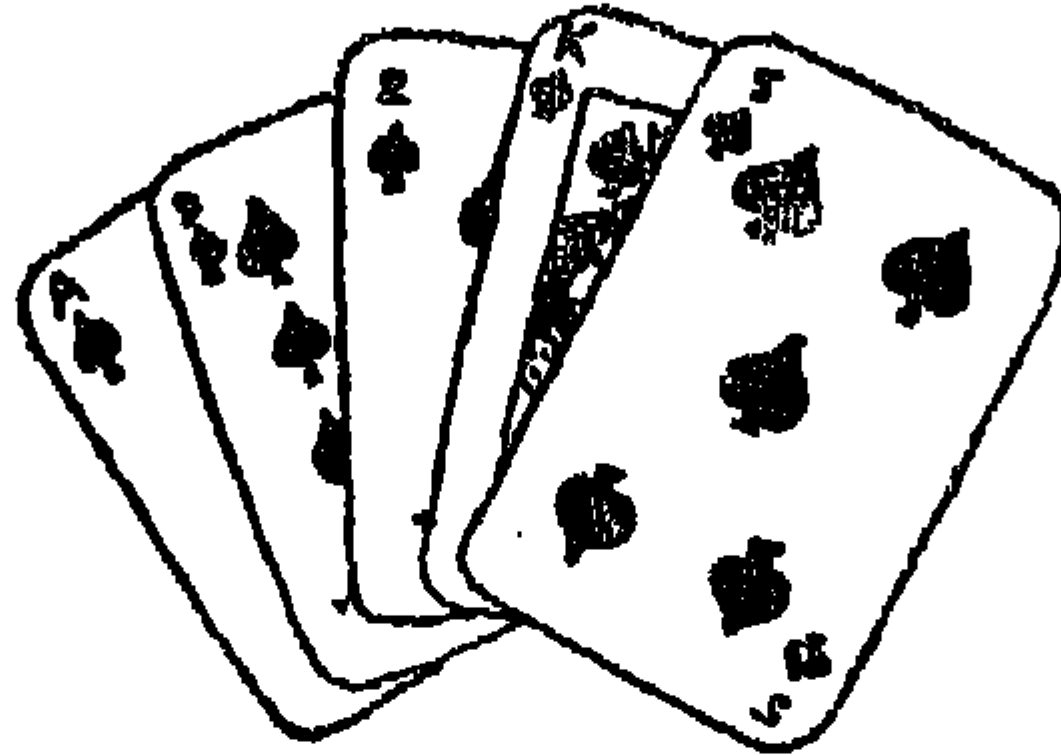
العدد النسبي للوجوه والكتابات

واذا كنت لا تعرف فان كل لاعب في هذه اللعبة يتعامل في خمس أوراق ، ويحصل صاحب أقوى مجموعة على البنك . وسوف نهمل في هذا المثال التعقيدات التي تنشأ عن امكانية استبدال بعض أوراقك على أمل الحصول على خير منها ، وكذا الاستراتيجية النفسية في خداع الخصوم بإقناعهم بالتسليم عن طريق إيهامهم بأنك تحمل مجموعة من الأوراق أقوى مما تحمله فعلا . وعلى الرغم من أن الخداع هو محور هذه اللعبة عمليا حتى أنه قد أدى بالعالم الدنماركي الطبيعي « نيلز بوهر » الى اقتراح لعبة جديدة تماما لا تستعمل فيها أوراق ، ويقوم اللاعبون بخداع بعضهم ببساطة عن طريق الحديث عن المجموعات الوهمية التي معهم ، وهذا يخرج تماما عن نطاق حساب الاحتمالات ويعتمد على علم النفس البحت .

وحتى تحصل على بعض التدريب في حساب الاحتمالات ، دعنا نقوم بحساب الاحتمالات لبعض مجموعات لعبة البوكر . ومن هذه المجموعات مجموعة تسمى « الفلوش » وتكون الأوراق الخمس فيها من نفس النوع (شكل ٨٥) .

فاذا أردت أن تحصل على « فلوش » لا يهم أول ورقة تحصل عليها وعلى الفرد أن يحصى فقط فرص الحصول على أربع أوراق من نفس النوع

وتحتوى الكوتشينة على ٥٢ ورقة كل ١٣ ورقة من نفس الشكل وهكذا
بعد الحصول على أول ورقة يبقى فى المجموعة ١٢ ورقة من نفس نوعها .
ولذا يكون احتمال الحصول على ورقة ثانية من نفس الشكل $\frac{12}{51}$
وهكذا تكون فرص الحصول على ورقة ثالثة ورابعة وخامسة من نفس
الشكل $\frac{11}{50}$ ، $\frac{10}{49}$ ، $\frac{9}{48}$. وحيث انك تريد خمس ورقات كلها من
نفس الشكل ينبغى أن تطبق قاعدة ضرب الاحتمالات ، حيث تجد أن
احتمال الحصول على الفلوش :



(شكل رقم ٨٥)

$$\frac{11880}{5997600} = \frac{9}{48} \times \frac{10}{49} \times \frac{11}{50} \times \frac{12}{51}$$

أى حوالى ١ من ٥٠٠

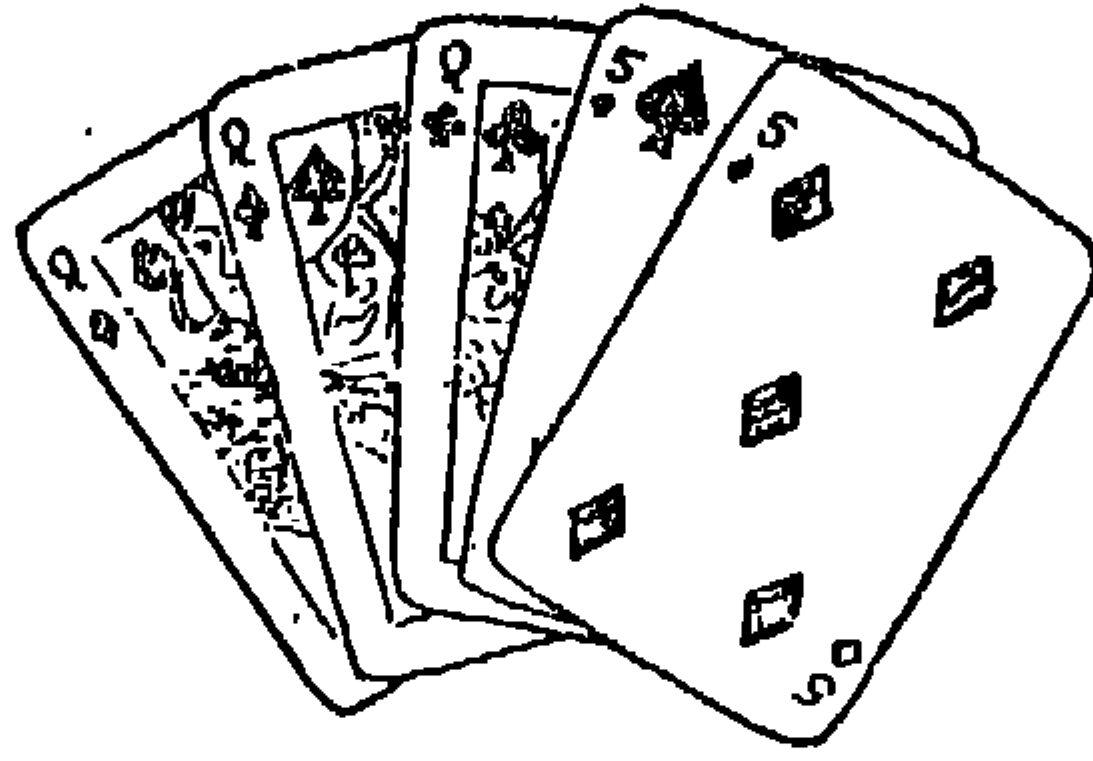
ولكن عفوا لا تحسب أنك ستحصل حتما على فلوش بعد ٥٠٠ ورقة
فربما تحصل على لا شيء ، أو قد تحصل على فلوشين . فليس هذا
الا حساب (احتمالى) وربما يحدث أن تتلقى أكثر من ٥٠٠ دورة لعب
دون اكمال المجموعة المطلوبة ، وعلى العكس من ذلك قد يجتمع فى يدك
الفلوش من أول خمس أوراق . وقصارى ما يمكن لنظرية الاحتمالات أن
تخبرك به هو أنك قد تحصل على فلوش بعد ٥٠٠ ورقة . وقد تعلم أيضا
باتباع نفس طريقة الاحصاء أنك بلعب ٣٠ ٠٠٠ ٠٠٠ دورة ربما تحصل
على ٥ آسات (بالجوكر) حوالى عشر مرات .

ومن المجموعات الأخرى فى البوكر وان كانت أكثر ندرة وهى بالتالى
أقوى ما يطلق عليه « فول » أو « فول هاند » . وهذه المجموعة تتكون
من « زوج » ، و « ثلاث أوراق من نوع » (أى ورقتان بنفس القيمة
وبشكلين مختلفين ، وثلاث ورقات من نفس القيمة بأشكال مختلفة ، فمثلا
ورقتان رقم ٥ ، وثلاث ملكات كما فى (شكل ٨٦) فإذا أردت الحصول

على فول ، وكانت الورقتان اللتان حصلت عليهما أولا غير متشابهتين ، أصبح لزاما عليك أن تحصل على ورقتين من الثلاث ورقات الباقية متماشيتين مع احدى الورقتين الأوليين ، وأن تتماشى الورقة الأخيرة مع الورقة الأخرى . وحيث ان هناك ٦ ورقات يمكن أن تتماشى مع الأوراق التي حصلت عليها . (اذا كان معك ملكة وخمسة فهناك ثلاث ملكات أخريات ، وثلاث خمسات أخريات) فان احتمال أن تتماشى الورقة الثالثة مع المجموعة يصبح ٦ من ٥٠ أو $\frac{6}{50}$. أما فرصة أن تتماشى الورقة الرابعة مع المجموعة فهي $\frac{5}{49}$ حيث أن هناك فقط ٥ أوراق من ٤٩ ورقة باقية ، وفرصة الورقة الخامسة هي $\frac{4}{48}$. وفي هذه الحالة يكون احتمال القول :

$$\frac{120}{117600} = \frac{4}{48} \times \frac{5}{49} \times \frac{6}{50}$$

أى حوالى نصف احتمال الفلوش .



(شكل رقم ٨٦)

فلوش البستونى

وبنفس الشكل يمكن للمرء أن يحسب احتمالات المجموعات الأخرى مثل « خمس أوراق متسلسلة » ، ووضع في الاعتبار كذلك التغيرات الاحتمالية التى تنجم عن ظهور الجوكر ، واحتمال استبدال الأوراق الأصلية .

ومن هذه الحسابات نجد أن ترتيب قوة المجموعات المستخدمة فى البوكر يتفق بالفعل مع ترتيبها الاحتمالى . ولا أدري اذا كان هذا الترتيب قد اقترحه أحد علماء الرياضيات القدامى أم أنه قد وضع عن طريق تجارب ملايين اللاعبين من خلال مقامرتهم بالمال فى صالونات القمار الراقية والأوكار الصغيرة المظلمة المنتشرة فى أنحاء العالم . فاذا كان الاحتمال الأخير هو الواقع ، لابد أن نقر أن لدينا هنا دراسة احصائية جيدة جدا عن الاحتمالات النسبية للأحداث المركبة .

ومن الأمثلة الأخرى المثيرة . لحساب الاحتمالات ، هذا المثال الذي يتمخض عن جواب غير متوقع أبدا ، وهو مشكلة « أعياد الميلاد المتزامنة » . وحاول أن تتذكر ما اذا كنت قد دعيت يوما الى حفلة عيد ميلاد مختلفتين في يوم واحد . وربما قلت أن فرصة حدوث ذلك ضئيلة جدا ، حيث أن عدد أصدقائك الذين قد يدعونك الى عيد ميلادهم لا يزيد عن ٢٤ صديقا . وقد تكون أعياد ميلادهم في أى يوم في السنة (٣٦٥ أو ٣٦٦) . وهكذا مع تلك الأيام وهؤلاء الأصدقاء فبديهي أن فرص الاتفاق في أعياد ميلادهم تكون ضئيلة جدا .

ولكن قد يصعب عليك أن تصدق أن حكمك خاطيء . فالحقيقة أن احتمال اتفاق صديقين من ٢٤ صديقا في عيد ميلادهم يعتبر احتمالا كبيرا الى حد ما ، بل واتفاق أكثر من اثنين في أعياد ميلادهم أيضا . والحقيقة أن احتمال حدوث ذلك أقوى من عدم احتمالته .

وتستطيع التأكد من ذلك عن طريق اعداد قائمة من ٢٤ شخصا ، أو بشكل أبسط ، عن طريق مقارنة تواريخ ميلاد ٢٤ شخصا ممن تجد أسماءهم بصورة عشوائية في مجلدات أشهر الأعلام في أمريكا "Who is who in America" . أو تستطيع التحقق من الاحتمالات باستخدام قواعد حساب الاحتمالات البسيطة التي خبرناها جيدا في مشكلة اللقاء العملة واليوكر .

والآن افترض أننا نحاول حساب فرص اختلاف أعياد الميلاد في مجموعة مكونة من ٢٤ شخصا . ولنسأل أول فرد في المجموعة عن تاريخ ميلاده ، وسوف يكون بالطبع يوما من ال ٣٦٥ يوم والآن ما احتمال اختلاف عيد ميلاد ثانى شخص عن عيد ميلاد الأول ؟ وحيث أن الفرد الثانى ربما يكون قد ولد في أى يوم من أيام السنة فان فرصة اتفاق ميلاده مع ميلاد الأول هي واحد من ٣٦٥ ، واحتمال اختلافه ٣٦٤ من ٣٦٥ (أى احتمال $\frac{364}{365}$) . وبالمثل تكون احتمالية اختلاف عيد ميلاد الثالث عن الشخصين الآخرين هي $\frac{363}{365}$ حيث تم استبعاد يومين من السنة .

وتكون احتمالات عدم اتفاق بقية الأشخاص كالتالى $\frac{362}{365}$ ، $\frac{361}{365}$ ، $\frac{360}{365}$

وهكذا حتى آخر فرد فى القائمة حيث تكون الاحتمالية

$$\frac{23}{365} \text{ أو } \frac{242}{365}$$

وحيث أننا نحاول معرفة احتمال تزامن أعياد الميلاد ينبغي أن نضرب كل الكسور السابقة فى بعضها ومن ثم نحصل على احتمال اختلاف أعياد ميلاد هؤلاء الأشخاص وقيمته :

$$\frac{342}{360} \times 0.000362 \times \frac{363}{360} \times \frac{364}{360}$$

ويمكن للمرء أن يحصل على النتيجة في دقائق معدودة باستخدام طرق رياضية صعبة المستوى (٥) ، فإذا كنت لا تعرفها يمكنك استخدام طريقة الضرب المباشر ، فهي لن تستغرق وقتا طويلا جدا . وستجد أن النتيجة هي ٤٦ر٠ وهذا يعنى أن احتمال عدم تزامن أعياد الميلاد أقل من النصف . أو بعبارة أخرى ، هناك ٤٦ فرصة من ١٠٠ لحدوث عدم توافق على الإطلاق في أعياد ميلاد أصدقائك ، ٥٤ فرصة من ١٠٠ لحدوث تزامن في أعياد ميلاد اثنين أو أكثر منهم . لذا فإن كان لديك ٢٥ صديقا أو أكثر ولم يحدث أن دعيت إلى عيدى ميلاد فى يوم واحد ، فبمقدورك أن تستنتج مع درجة كبيرة من احتمال صحة استنتاجك : أنه إما أن أصدقائك لا يحتفلون بأعياد ميلادهم أو أنهم لا يدعونك إليها .

إن المثال السابق لأعياد الميلاد يعبر بصدق شديد عن أن حكم البديهية قد يجانبه الصواب تماما فيما يتعلق باحتمال وقوع الأحداث المركبة . فقد وجهت هذا السؤال إلى عدد كبير من الناس ، بما فى ذلك عدد من العلماء البارزين وفى كل المرات ، إلا مرة واحدة (٦) ، كانت الرهانات المعروضة على تتراوح نسبتها بين ٢ : ١ و ١٥ : ١ فى صالح عدم حدوث التزامن ، ولو أننى قبلت هذه الرهانات لكنت الآن من الأغنياء !

ونحن فى غنى عن إعادة القول بأننا لو حسبنا احتمالات الأحداث المختلفة وفقا لقواعد معطاة ، وتوصلنا إلى أكثرها احتمالا فإن هذا لا يعنى حتمية انطباق النتيجة ، مالم يكن عدد الاختبارات التى نجريها بالآلاف .. أو الملايين .. بل البلايين فهى أفضل ! .

فالنتائج المتوقعة لا تزيد عن كونها « محتملة » وليست « مؤكدة » على الإطلاق . إن ضعف قوانين الاحتمالات عند التعامل مع عدد صغير نسبيا من الاختبارات ، يحد على سبيل المثال من جدوى التحليل الإحصائى لفك الرموز والرسائل الشعرية المختلفة التى لا تتخطى عادة بضع عبارات قصيرة . والآن لننظر مثلا فى الحالة الشهيرة التى وصفها « ادجار آلان بو » (*) فى قصته المعروفة "The Gold Bug" . فقد تحدث عن

(٥) استعمل جدول اللوغاريتمات أو المسطرة الحاسبة إن استطعت ! .

(٦) لقد كان هذا الاستثناء ، بالطبع ، من نصيب رياضى مجرى (انظر بداية الفصل الأول من الكتاب) .

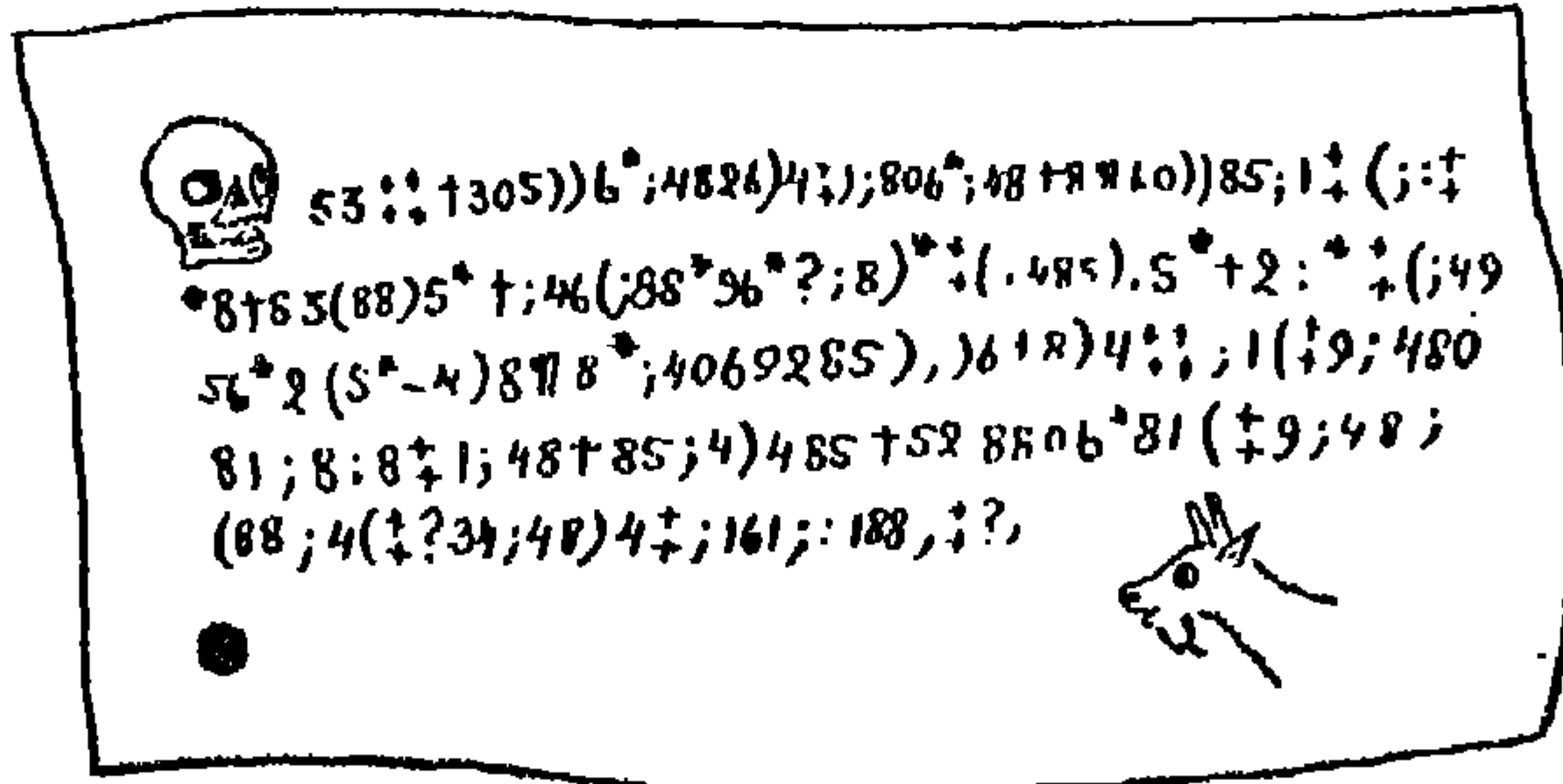
(*) صحفي وشاعر وكاتب قصة قصيرة أمريكى توفى عام ١٨٤٩ (المترجم) .

شخص يدعى مستر « لى جراند » عشر على جزء من مخطوطة مدفونة الى نصفها فى رمال شاطئ « ساوث كارولينا » المبتلة أثناء تجواله هناك . وعند تعريض المخطوطة للحرارة المنبعثة من مدفأة كيخه ظهرت بها بعض الرموز الغامضة المكتوبة بالحبر ، والتي كانت مخفية بسبب برودة الوثيقة . ثم احمرت وأصبحت مقروءة تماما بعد التسخين . واحتوت المخطوطة على رسم جمجمة مما يوحي بأن كاتبها كان قرصانا . وظهر بها أيضا رسم لكبش ، مما يجزم دون أى مجال للشك بأن كاتب المخطوطة هو كاتب « كيد » المشهور ، هذا بالإضافة الى عدة سطور من العلامات الطبوغرافية التى تشير الى مكان كنز مخبوء (انظر شكل ٨٧) .

ونحن نسلم على مسئولية « ادجار آلان بو » بأن قراصنة القرن السابع عشر كانوا على دراية بمثل هذه الرموز الطبوغرافية مثل الفاصلة المنقوطة ، وعلامة التنصيص ، وعلامات أخرى مثل

ولما كان مستر « لى جراند » فى حاجة الى النقود ، فقد جند كل طاقاته الذهنية فى محاولة لفك رموز هذه الرسالة الشفرية ، وفى النهاية نجح فى ذلك استنادا الى التكرار النسبى لحروف معينة فى اللغة الانجليزية . وقد اعتمد فى أسلوبه على الحقيقة التى مفسادها أنك اذا حصرت عدد الحروف المختلفة فى أى نص انجليزى سواء كان سونيته (*) لشكسبير ، أو احدى قصص « ادجار والاس » الغامضة ، ستجد أن الحرف E هو أكثر الأحرف تكرارا ويليه بالترتيب

a, o, i, d, h, n, r, s, t, u, y, c, f, G, I, M, w, b



(شكل رقم ٨٧)

رسالة كاتب كيد

(*) السوربة قصيدة مؤلفة من ١٤ بيتا (المترجم) .

وعن طريق حصر العلامات المختلفة الموجودة في رسالة كابتن كيد وجد لي جرائد أن رقم "8" أكثر رموزها تكرارا فقال :

« آه ! هذا معناه أن رقم 8 يعني في الرسالة حرف E حسن لقد كان مصيبا في هذا الأمر ، ولكن هذا كان احتمالا قويا وليس مؤكدا إطلاقا . والواقع لو أن مضمون الرسالة كان :

"You will find a lot of gold and coins in an iron box in woods two thousand yards south from an old hut on Bird Islands north tip" *

فانها كما ترى لن تحتوى ولو على حرف (e) واحد ! ولكن مستر « لي جرائد » فضل استخدام قوانين الاحتمالات والتسليم بنتائجها .

وبعد نجاح مستر « لي جرائد » في الخطوة الأولى زادت ثقته ، وسار على نفس المنوال ، أي اختيار الحروف وفقا لاحتمال تكرارها بالترتيب

تكرر رقم 8 ٢٤ مرة	١	٢
٢٦ مرة :	c ←	→ e
١٩ مرة 4	a	t
١٦ مرة 1	o	h
١٦ مرة (i	o
١٣ مرة *	d	r
١٣ مرة 5	h	n
١١ مرة 6	n	a
٨ مرة 1	r	i
٨ مرة 1	s	d
٦ مرة 0	t	
٥ مرة g	u	
٥ مرة 2	y	
٤ مرة 1	c	
٤ مرة 3	f	
٣ مرة 2	g ←	→ g
٢ مرة 1	l	u
٢ مرة 1	m	
١ مرة .	w	
١ مرة .	b	

(*) ستجد ذهبيا والكثير من العملات في صندوق حديدي في الغابات على بعد ألفي ياردة جنوب كوخ صغير على الطرف الشمالي لجزر الطير .

ونقدم لك فى الجدول الآتى الرموز التى اشتملت عليها رسالة كابتن كيد
وفقا لتكرارها النسبى فى الاستخدام :

يحتوى العمود (١) على الحروف الأبجدية مرتبة وفقا للتكرار النسبى
لها فى اللغة الانجليزية . ولذا فقد كان من المنطقى أن يفترض أن العلامات
المدرجة فى العمود العريض هى شفرة للحروف الموجودة فى العمود (١) .
على أن استخدام هذا الترتيب يؤدى بنا الى قراءة بداية رسالة كابتن كيد
كما يلى : ngiisgunddrhae cr

فهل يفهم من ذلك أى شىء ؟ !

وماذا بعد ؟ . هل كان القرصان القديم مولعا بالخداع حتى أنه
استخدم كلمات تتضمن حروفا لا تتبع نفس قواعد الكلمات المستخدمة فى
الانجليزية ؟ اطلاقا ، فالأمر ببساطة أن هذه الرسالة لم تكن طويلة بما
يكفى لاتخاذها عينة احصائية لأكثر توزيعات الحروف احتمالا . ولو كان
كابتن « كيد » خبأ كنزه فى مكان صعب ، بحيث تتطلب تعليمات الكشف
عنه كتابة عدة صفحات ، أو حبذا لو كانت فى مجلد كامل ، لكانت فرصة
مستر « لى جراند » أفضل فى حل اللغز تطبيقا لقواعد التكرار .

فانت بالقاء عملة ١٠٠ مرة قد تثق فى وقوعها على الوجه ٥٠ مرة
مثلا ، ولكن القاء العملة ٤ مرات يجعلك عرضة للحصول على الوجه
٣ مرات ، والكتابة مرة واحدة أو العكس . وحتى نضع قاعدة لذلك
القول يمكننا أن نقول انه كلما زاد عدد المحاولات كلما كانت فعالية قانون
الاحتمالات أشد .

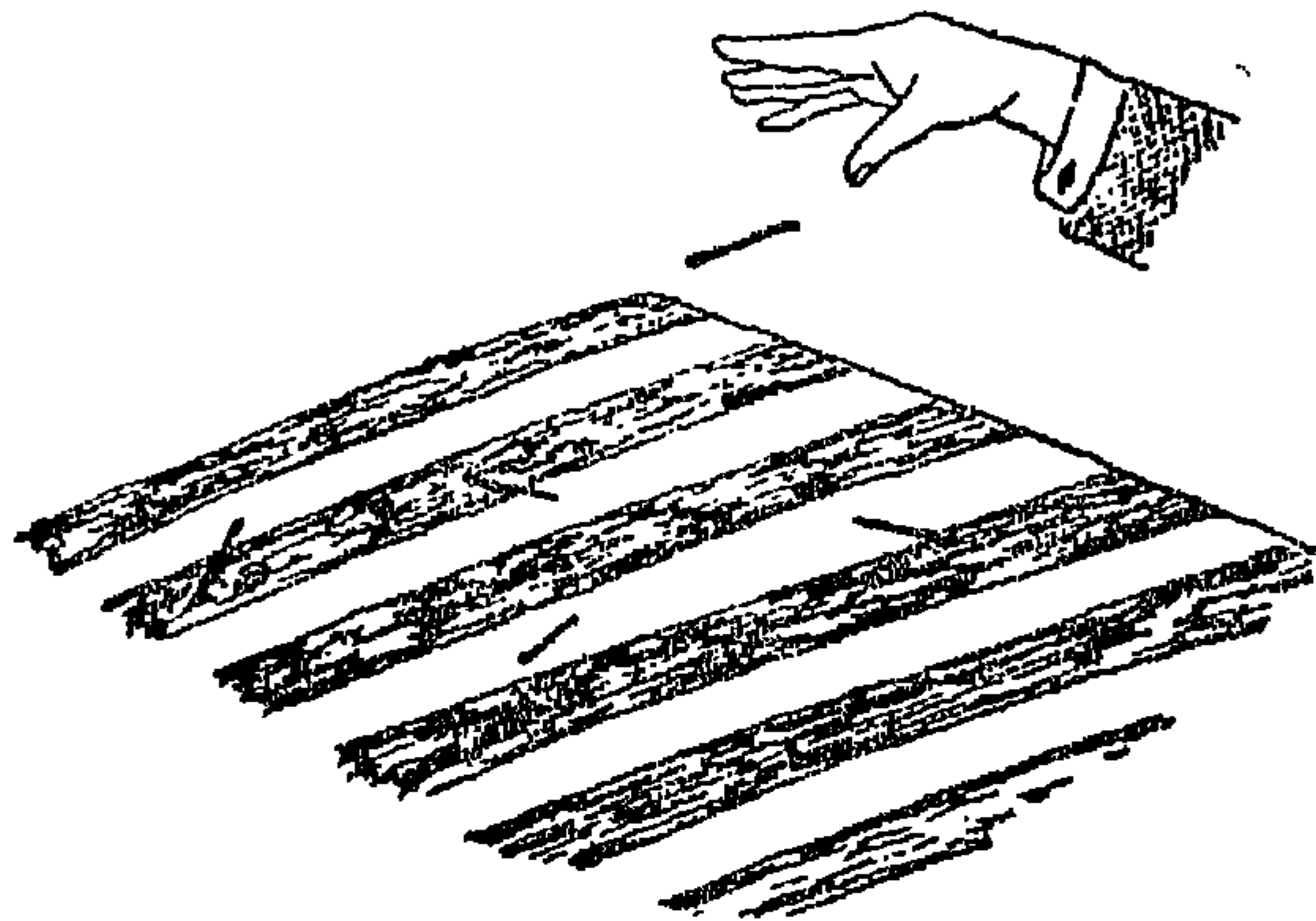
وحيث ان أسلوب التحليل الاحصائى البسيط قد فشل لعدم كفاية
عدد حروف الرسالة الشفرية ، فقد كان على مستر « لى جراند »

أن يلجأ الى استخدام تحليل يعتمد على بنية الكلمات فى اللغة
الانجليزية بالتفصيل . وقبل أى شىء أكد « لى جراند » على الافتراض
بأن أكثر العلامات تكرارا وهو (8) يقصد به الحرف (e) . اذ لاحظ أن
التركيبة (88) قد تكررت كثيرا (٥ مرات) فى هذه الرسالة القصيرة
نسبيا ، اذ أنه كما نعلم جميعا يتكرر الحرف فى كثير من الكلمات
الانجليزية كما فى (meet, fleet speed, seen, been, agree)

علاوة على أن (8) تعنى (e) اذ أنه من المنتظر أن تتكرر كثيرا بوصفها
جزءا من كلمة "The" . وبفحص هذا النص نجد أن التركيبة 48
قد تكررت سبع مرات فى سطور قصيرة ، ولو كان هذا صحيحا لوجب
استنتاج أن z تعنى t و 4 تعنى h .

ونحن نحيل القارئ الى قصة « بو » الأصلية للتفاصيل بالنسبة للخطوات التالية في فك رموز رسالة كابتن « كيد » وقد وجد أخيرا بعد فك الشفرة أن نص الرسالة كان « كأس جيد في الحانة في مقعد الشيطان ٤١ ٠٠ درجة وثلاث عشرة دقيقة الى الشمال الشرقي من جهة الشمال . الفرع الرئيسى ، القسم السابع شرقا ، التصويب من عين الجمجمة اليسرى في خط مستقيم من الشجرة حتى مسافة ٥٠ قدما للخارج » .

ويظهر المعنى المقصود للرموز المختلفة بعد أن « فك لي جراند » رموزها أخيرا في العمود (٢) في الجدول السابق . وكما ترى أنها لا تتفق تماما مع التوزيع المتوقع على أساس قانون الاحتمالات .



(شكل رقم ٨٨)

والسبب في ذلك عائد بالطبع الى قصر النص الذى يحول بالتالى دون توفير فرصة جيدة لنجاح قانون الاحتمالات . ولكن حتى في هذه « العينة الاحصائية » الصغيرة نستطيع أن نلاحظ ميل الحروف الى أن تترتب وفقا لنظام نظرية الاحتمالات . وهو هذا النظام الذى يكاد يكون قاعدة مؤكدة اذا زاد عدد الحروف في الرسالة .

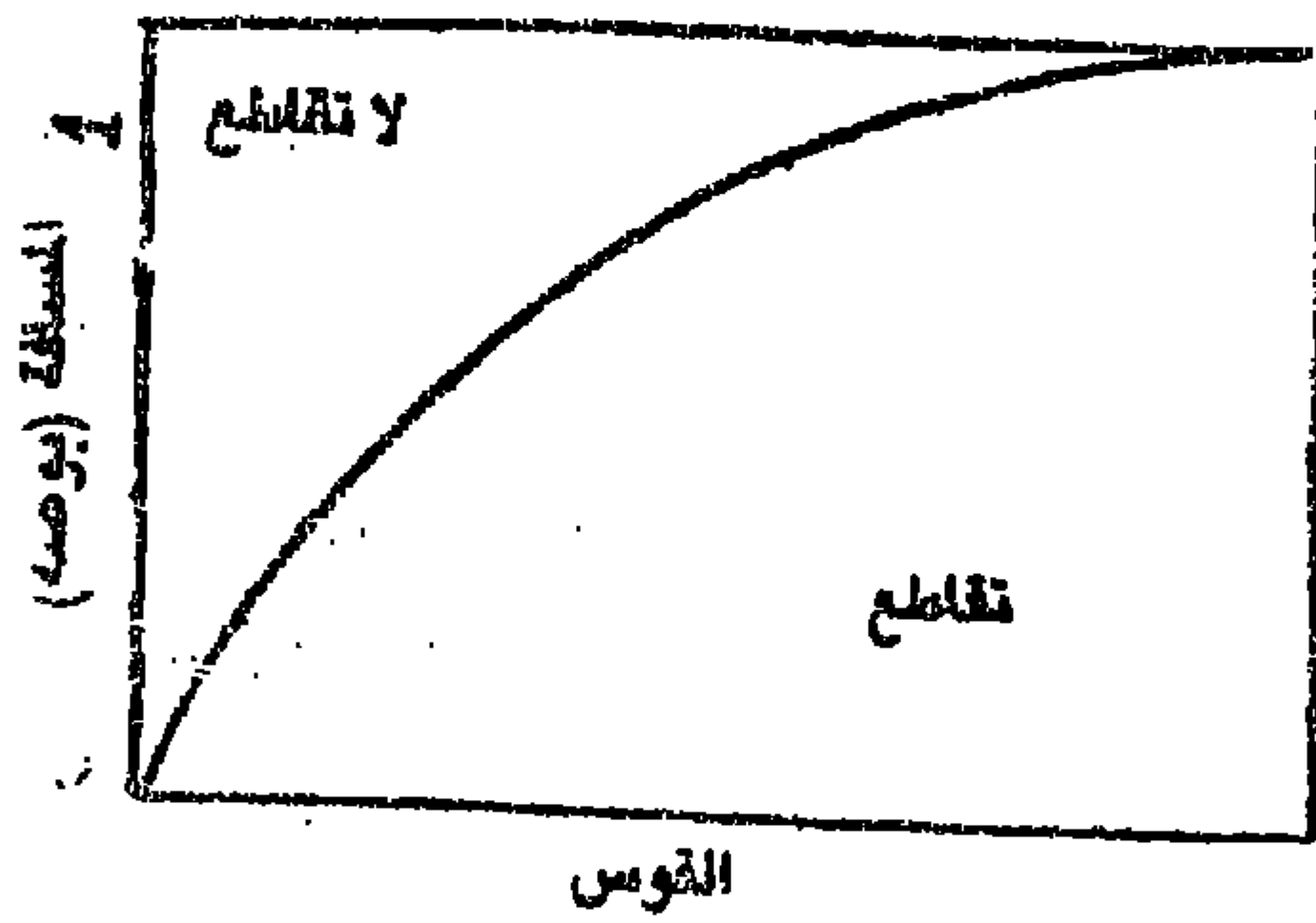
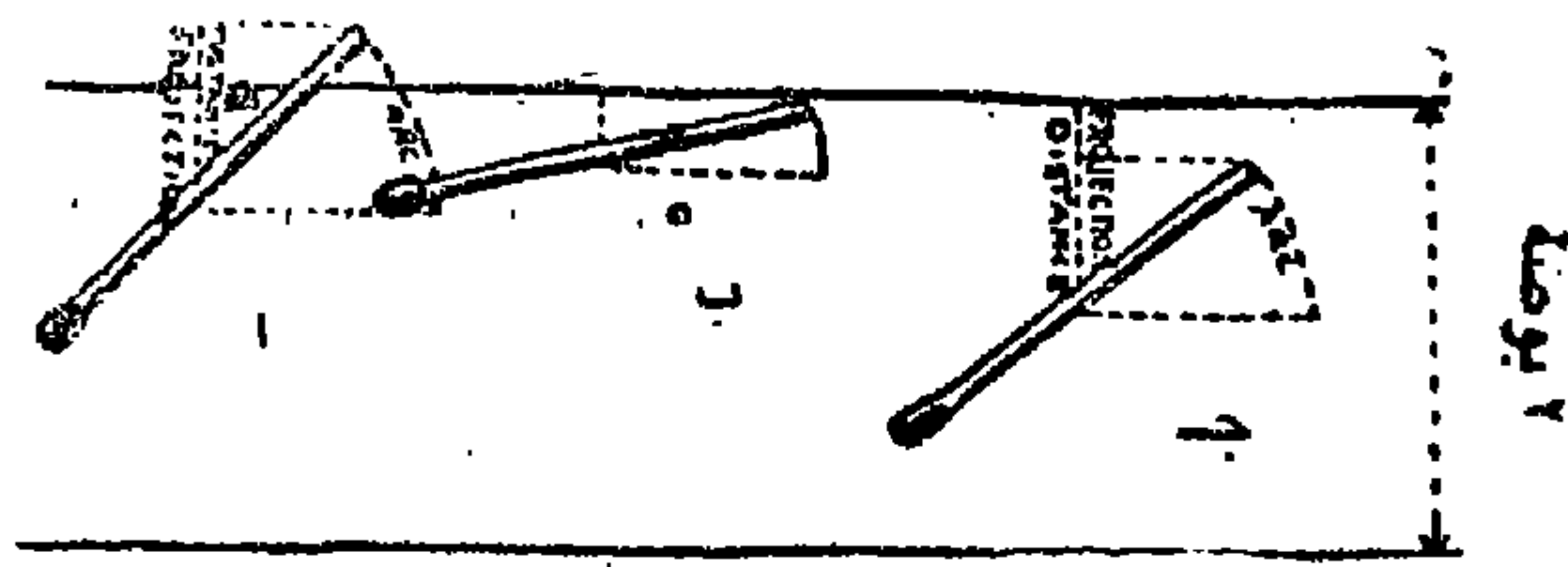
ويبدو أن هناك مثلا واحدا لا غير (مع استبعاد شركات التأمين التى لا تفلس) يتم فيه اختبار توقعات نظرية الاحتمالات عمليا من خلال عدد كبير من المحاولات . وهى مشكلة العلم الأمريكى وعلبة الثقاب الشهيرة .

وحتى تحل هذه المشكلة الاحتمالية ، سوق نحتاج الى علم أمريكى ، أو الجزء منه الذى يحتوى على شرائط حمراء وبيضاء .

وان لم تجد تستطيع استخدام قطعة كبيرة من الورق بعد أن ترسم عليها عددا من الخطوط المتوازية والمتساوية فى البعد بينها . ثم أحضر

علبة ثقاب من أى نوع بشرط أن يكون عود الثقاب أقصر من عرض الخطوط . وبعد ذلك نحتاج الى (Pi) وهى المقابل فى اليونانية لحرف (P) فى الانجليزية ، وتكتب هكذا π (*) وبالإضافة الى كونها حرفا يونانيا فهى ترمز الى النسبة بين محيط أى دائرة وقطرها وهى تساوى عدديا ان كنت لا تعلم ٣١٤١٥٩٢٦٥٣٥٠٠ (وهى أرقام عشرية أخرى معروفة ولكننا لن نحتاج اليها) .

والآن أبسط العلم على مائدة ، وألق بعود ثقاب فى الهواء وراقبه حتى يسقط على العلم (شكل ٨٨) . وربما سقط داخل أحد الشرائط بكامله ، او سقط متقاطعا مع الحد الفاصل بين شريطين متتاليين فما هى فرص حدوث أحد الأمرين ؟



(شكل رقم ٨٩)

واعمالا لأسلوب التحقق من الاحتمالات الأخرى ، ينبغى أولا أن نحصر عدد احتمالات تحقيق كل منهما .
ولكن كيف يمكن ذلك مع العلم بأن عود الثقاب يمكن أن يسقط على العلم فى عدد لا نهائى من الأوضاع ؟

ولكن دعنا نتأمل السؤال بمزيد من الدقة . يمكن تمييز وضع عود الثقاب الساقط بالنسبة للخط الذى يقع عليه بالاستعانة بالمسافة بين

(*) يرمز اليها عندنا بـ (ط) (المترجم)

منتصف العود وبين أقرب خط له ، بالإضافة الى الزاوية بين عود الثقب والخط كما فى (شكل ٨٩) . وسنعطى ثلاثة أمثلة حقيقية لأعواد الثقب الساقطة ، لنفترض أن طول عود الثقب وعرض الشريط كل منهما يساوى ٢ بوصة للتبسيط . فاذا كان منتصف العود قريبا نسبيا من الخط والزاوية كبيرة الى حد ما (كما فى الحالة أ) فسيقتاطع العود مع الخط ، وبالعكس اذا كانت الزاوية صغيرة (كما فى ب) أو المسافة بعيدة (كما فى ج) فسوف يظل العود داخل الشريط . وأدق من ذلك أن نقول ان العود سيقاطع مع الخط اذا كان اسقاط نقطة منتصف العود فى الاتجاه الرأسى أكبر من نصف عرض الشريط (الحالة أ أيضا) ، واذا حدث العكس فلن يحدث تقاطع (كما فى الحالة ب) . وفى الشكل السابق ترى ايضا بالرسم (أسفل الشكل) للجملة السابقة . وسوف نحدد زاوية سقوط العود على المحور الأفقى (الاحداثى السينى) وفقا من طول القوس المقابل لنصف القطر (١ بوصة) . وعلى المحور الرأسى (الاحداثى الصادى) يتم تحديد طول اسقاط نصف عود الثقب رأسيا ويعرف فى حساب المثلثات باسم جيب الزاوية المقابلة للقوس المعطى أو (جا) وواضح أن (جا) تساوى صفر اذا كان طول القوس المقابل للزاوية صفر . اذ أن عود الثقب يكون فى هذه الحالة أفقيا . فاذا كان القوس $\frac{\pi}{2}$ أى أن الزاوية المقابلة له قائمة (٧) ، تكون (جا) مساوية للوحدة اذ أن العود يكون رأسيا ، وبالتالي ينطبق على اسقاطه .

وبالنسبة للقيم المتوسطة للقوس يمكن معرفة (جا) من المنحنى الرياضى المتعرج المعروف باسم المنحنى الجيبى وفى شكل ٨٩ تجد $\frac{1}{4}$ موجة كاملة فى الحيز بين صفر و $\frac{\pi}{2}$.

وبرسم هذا الشكل يمكننا أن نستخدمه بسهولة لتقدير فرص تقاطع عود الثقب الساقط مع الخط . ولقد رأينا من قبل (راجع الأمثلة الثلاثة أعلى شكل ٨٩) أن العود يتقاطع مع الخط الخارجى للشريط عندما تكون المسافة بين منتصف العود وهذا الخط أقل من الاسقاط المقابل ، أى أقل من (جا) القوس . وهذا يعنى أننا عند تحديد المسافة والقوس فى الرسم نحصل على نقطة أسفل خط ال (جا) . وبالعكس سنجد أن العود الذى يقع بكامله داخل حدود الخط الذى يعطينا نقطة أعلى خط (جا) .

(٧) محيط دائرة نصف قطرها (١) يساوى π (القطر) أى ٢ π . وبالتالي

$$\frac{\pi}{2} \text{ أو } \frac{2\pi}{4} \text{ يكون ربع المحيط مساويا } \frac{\pi}{2}$$

اذن فوفقا لقواعد حساب الاحتمالات ، ستكون فرص التقاطع متساوية فى نسبتها تماما مع فرص عدم التقاطع ، حيث تتساوى المساحة أسفل المنحنى مع المساحة أعلاه . ويمكن حساب احتمال كل حدث بقسمة مساحته على المساحة الكلية للمستطيل . ورياضيا تستطيع أن تثبت أن مساحة المنحنى الجيبى فى الرسم تساوى (١) تماما (راجع الفصل الثانى) . وبما أن مساحة المستطيل الكلية $= 1 \times \frac{\pi}{2}$

$\frac{\pi}{2}$. اذن فاحتمال تقاطع العود مع حدود الشرائط (فى الأعواد التى

$$\text{يساوى طولها عرض الشريط}) \text{ هو : } \frac{1}{\pi \div 2} = \frac{2}{\pi}$$

ومن المثير أن أول من لاحظ علاقة (ط) بهذه المشكلة هو العالم (كونت بوفن) فى القرن الثامن عشر ولذا عرفت هذه القضية الاحتمالية باسمه . ثم أتى من بعده رياضى مجتهد هو « لازيرينى » فأجرى التجربة عمليا باستخدام ٣٤٠٨ عود ولاحظ أن المتقاطع منها كان ٢١٦٩ عود . وترتب على ذلك التعويض عن (ط) بعد استخدام قانون بوفن بالقيمة $\frac{2 \times 3408}{2169}$ أو ٣١٤١٥٩٢٩ وهو ما لا يختلف عن القيمة الحسابية

الدقيقة لها الا فى الرقم العشرى السابع !

ويعتبر هذا بالطبع دليلا عجيبا على صدق قوانين الاحتمالات . ولكن الأعجب من ذلك الوصول الى رقم «٢» بالقاء عملة ملايين الملايين من المرات ، ثم قسمة عدد مرات اللقاء على عدد حالات ظهور الوجه . وفى هذه الحالة ستجد أن الناتج هو ٢٠٠٠ (*) وهذا يعطى نسبة خطأ ضئيلة تساوى مثيلتها فى تحديد (ط) على يدى « لازيرينى » .

٤ - الانتروبيا الغامضة :

من الأمثلة السابقة على حساب الاحتمالات وكلها مأخوذة من الحياة اليومية ، عرفنا أن هذا النوع من التحديد المسبق غالبا ما يكون مخيبا للآمال عندما نستخدم عددا محدودا ، على أنه يصبح أفضل وأفضل عندما نتعرض لأعداد كبيرة فعلا . وتلك الخاصية تجعل هذه القوانين صالحة للتطبيق بوجه خاص على توصيف الأعداد التى لا تكاد تحصى من الذرات أو الجزيئات ، والتى قد لا تمثل الا أصغر الأجزاء من المواد التى نتعامل

(*) فالرقم مطابق حتى الخانة العشرية السادسة (المترجم) .

معها . لذا ففي حين يمكن للقانون الاحصائي لمسار السكير أن يؤدي الى الحصول على نتائج تقريبية لا أكثر عند تطبيقه على نصف دسنة من السكارى الذين ربما غير كل منهم اتجاهه ٢٤ مرة ، نجد أن تطبيق نفس القانون على البلايين من جزيئات الصبغة التي تمر ببلايين المصادمات كل ثانية يؤدي الى التوصل الى أدق قوانين الانتشار الطبيعية . ونستطيع أيضا أن نقول أن الصبغة التي أذيبت أصلا في كمية ماء لا تملأ أكثر من نصف أنبوبة اختبار ، تميل من خلال عملية الانتشار الى أن تتوزع توزيعا متجانسا في ملء هذه الانبوبة من الماء لأن ذلك التوزيع المتجانس أقوى احتمالا من التوزيع الأصلي .

ولنفس هذا السبب تماما تمتلئ الحجرة التي تجلس فيها وأنت تقرأ هذا الكتاب بالهواء في توزيع متجانس من الجدار الى الجدار ، ومن الأرضية الى السقف ، ولا يمكن حتى أن يخطر ببالك أن هواء الحجرة يمكن له فجأة أن يتقوقع في ركن بعيد تاركا اياك تختنق في مقعدك .

ومع ذلك فإن هذا الحادث الرهيب ليس مستحيلا تماما من الناحية الفيزيائية بيد أنه بعيد الاحتمال الى حد كبير فقط .

وحتى يتم ايضاح الأمر دعنا نتأمل في حجرة مقسمة الى جزأين متساويين بواسطة حاجز رأسى وهمى ، ولنسأل أنفسنا عن أكثر التوزيعات احتمالا لجزيئات الهواء في هذين النصفين . ان هذه المشكلة بالطبع شبيهة تماما بمشكلة لقاء العملة التي تعرضنا لها في الجزء السابق فاذا التقطنا جزيئا واحدا نجد أن فرصة وجوده في النصف الأيمن تتساوى مع فرصة وجوده في النصف الأيسر من الحجرة تماما ، تماما كما كان الأمر بالنسبة للعملة الملقاة على مائدة حيث تظهر وجهها أو كتابة .

وسوف يكون للجزء الثانى والثالث وباقي الجزيئات فرض متساوية للوجود في أى من الجزئين بغض النظر عن مكان باقى الجزيئات (٨) .

وهكذا نجد أن مشكلة توزيع الجزيئات بين نصفي الحجرة هي توأم لمشكلة عدد مرات ظهور الوجه والكتابة في عدد كبير من الرميات ، وكما رأيت في شكل (٨٤) يعتبر التوزيع النصفى في هذه الحالة هو أقوى الاحتمالات حتى الآن . ونرى أيضا من هذا الشكل أنه بزيادة عدد الرميات (وهي تقابل عدد الجزيئات في حالتنا هذه) يصبح احتمال ال ٥٠٪ أكبر

(٨) الواقع أنه نتيجة للمسافات الواسعة بين الجزيئات المنفصلة للغاز فان الفضاء لا يكون مزدحما بها على الإطلاق ، كما أن وجود عدد كبير من الجزيئات في حجم معين لا يمنع دخول جزيئات جديدة أبدا .

وأكبر حتى يتحول عمليا الى أمر مؤكد عندما يصبح الرقم هائلا . وحيث ان الحجرة المتوسطة الحجم تحتوى على حوالى ٢٧١٠ جزيء (٩) فان احتمال تجمعها فرضا فى الجزء الأيمن مثلا من الحجرة يكون :

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{2710} \text{ من } 10 - 3 \times 10^{26}$$

$$\text{أى } 1 \text{ من } 310 \times 2610$$

ومن ناحية أخرى ، حيث ان جزيء الهواء الذى ينتقل بسرعة مقدارها حوالى ٥٠ كم فى الثانية لا يحتاج الا الى ١٠ ر من الثانية لينتقل من أحد طرفى الحجرة الى الطرف الآخر ، فسوف يتغير توزيع الهواء فى الحجرة ١٠٠ مرة فى الثانية . وبالتالى فان الوقت اللازم لاجتماع الجزيئات فى النصف الأيمن يصبح :

$$2610 \times 310 \times 100 = 261000000$$

وقارن ذلك بالرقم ١٧١٠ الذى يعبر عن العمر الكلى للكون ! لذا تستطيع أن تمضى فى مطالعة الكتاب بهدوء دون خوف من الاختناق بالصدفة .

وكمثال آخر دعنا نتأمل كوبا من الماء موضوعا على سطح منضدة . ونحن نعلم أن جزيئات الماء التى تدخل فى الحركة الحرارية غير المنتظمة تتحرك بسرعة عالية فى كافة الاتجاهات الممكنة ، ولا يمنعها من التطاير بعيدا الا قوى التماسك فيما بينها .

ولما كان اتجاه حركة كل جزيء منفصل يخضع تماما لقانون الاحتمال ، نستطيع أن ندرس امكانية تحول اتجاه حركة نصف الجزيئات وبالتحديد النصف العلوى الى أعلى ، والجزيئات الموجودة فى النصف السفلى الى أسفل (١٠) . فى هذه الحالة ستعجز قوى التماسك المؤثرة على امتداد السطح الأفقى الذى يقسم هاتين المجموعتين من الجزيئات عن مقاومة « رغبتهما المشتركة فى الانفصال » وسوف نشاهد عندئذ ظاهرة طبيعية غريبة عندما ينطلق النصف العلوى من الماء تلقائيا الى أعلى نحو السقف وبسرعة القذيفة ! .

وهناك امكانية أخرى ، وهى أن تتجمع الطاقة الكلية للحركة الحرارية لجزيئات الماء بالصدفة فى الجزيئات الواقعة فى الجزء العلوى من الكوب ، وفى هذه الحالة يتجمد الماء بالقرب من القاع بينما تغلى الطبقة العليا

(٩) الحجرة التى أبعادها ١٠ أقدام \times ١٥ قدما \times ٩ أقدام ارتفاع يكون حجمها ١٣٥٠ قدما مكعبا أو $10 \times 5 \times 7$ سم^٣ ، وهى تحتوى على $10 \times 5 \times 10^{24}$ جم من الهواء . وحيث ان الكتلة المتوسطة لجزيئات الهواء تكون 30×10^{-24} - 24×10^{-24} جم ويكون العدد الكلى للجزيئات $10 \times 5 \times 10^{24} \div 30 \times 10^{-24} = 10^{48}$ (العلامة تعنى مساو تقريبا ز) .

بشدة . فما السبب فى عدم حدوث ذلك أبدا ؟ . السبب ليس استحالة الحدوث ولكن ببساطة أن احتمال ذلك أمر غاية فى الضعف . والحق أنك لو حاولت حساب احتمال حدوث التوزيع السابق بالمصادفة البحتة لهذه الجزيئات الموزعة توزيعا عشوائيا ستصل الى رقم قريب جدا من الرقم الذى وصلنا اليه عند حساب احتمال تجمع الهواء فى أحد أركان الحجرة . وبالمثل فان فرصة فقدان بعض الجزيئات لطاقتها الحركية نتيجة للصدام المتبادل بينما تحتفظ جزيئات أخرى بجزء كبير من طاقتها تعتبر ضئيلة لدرجة أنه يمكن إهمالها . ونقول ثانية ان توزيع اتجاهات الحركة بما يحقق الحالة المعناد رؤيتها هو أقوى الاحتمالات .

والآن لو بدأنا بحالة لا تتفق مع أكثر التوزيعات احتمالا فى مواضع الجزيئات أو سرعاتها ، وذلك بإطلاق غاز ما فى أحد الأركان أو صب بعض الماء الساخن فوق ماء بارد ، فسوف تحدث تغيرات فيزيقية وبناء عليه يتحول هذا النظام من الأقل احتمالا الى الأكثر احتمالا . وسوف ينتشر الغاز فى أنحاء الحجرة حتى يملأها بشكل متجانس ، وتنساب الحرارة الحار من قمة الكوب الى القاع حتى يكتسب الماء درجة حرارة موحدة . لذا نستطيع أن نقول ان كافة العمليات الفيزيائية التى تعتمد على الحركة غير المنتظمة للجزيئات تميل للحدوث باحتمالات متزايدة ، كما أن حالة التوازن حين لا يحدث شيء جديد هى المقابل للحد الأقصى من الاحتمال . وحيث ان احتمال حدوث التوزيعات المختلفة للجزيئات يعبر عنه فى الغالب بأرقام ضئيلة جدا كما رأينا فى مثال هواء الحجرة (مثل : $10^{-3} \times 10^{-1}$ لتجمع الهواء فى نصف الحجرة) فانه من المتعارف اللجوء الى لوغاريتماتها بدلا من ذلك . ويطلق على هذا المقدار اسم « الانتروبيا » وهى تلعب دورا بارزا فى جميع المسائل الخاصة بالحركة العشوائية للمادة . ونستطيع الآن كتابة هذه الجملة الخاصة بتغير الاحتمال فى العمليات الفيزيائية كما يلى :

ان أى تغير تلقائى فى نظام طبيعى يتم فى اتجاه زيادة قيمة الانتروبيا وحالة التوازن النهائى يناظر أقصى قيمة ممكنة لها .

وهذا هو قانون الانتروبيا الشهير ، والمعروف أيضا باعتباره القانون الثانى فى الديناميات الحرارية (باعتبار أن القانون الأول هو قانون ثبوت الطاقة) وهكذا كما ترى ليس هناك ما تخشاه ويمكن أيضا أن يطلق على قانون الانتروبيا قانون الفوضى المتزايدة حيث قد رأينا فى جميع الأمثلة السابقة أن الانتروبيا تصل الى أقصى قيمة لها عندما تكون مواقع الجزيئات وحركتها موزعة بشكل عشوائى تماما ، بحيث تكون أى محاولة لاحداث نوع من التنظيم فيها هى بمثابة محاولة لخفض قيمة

الانتروبيا . ولا تزال هناك صيغة أخرى لقانون الانتروبيا وهي عملية أكثر ويمكن الحصول عليها بالنظر في موضوع تحويل الحرارة الى حركة ميكانيكية . فاذا تذكرنا أن الحرارة هي بالفعل الحركة الميكانيكية غير المنتظمة للجزيئات يصبح من السهل علينا أن ندرك أن التحول الكامل للمحتوى الحرارى لآى جسم مآدى الى طاقة ميكانيكية ذات حركة واسعة النطاق ، هو المقابل لمهمة قسر كافة جزيئات هذا الجسم على التحرك فى نفس الاتجاه . ومع ذلك ، ففي مثال الكوب الذى يقذف بنصف محتواه من المادة تلقائيا فى اتجاه السقف ، رأينا أن هذه الظاهرة غير محتملة الوقوع الى حد يجعلنا ننظر اليها باعتبارها مستحيلة عمليا . لذا فعلى الرغم من أن طاقة الحركة الميكانيكية يمكن أن تتحول عن آخرها الى حرارة (عن طريق الاحتكاك مثلا) فإن الطاقة الحرارية لا يمكن أبدا أن تتحول بالكامل الى حركة ميكانيكية . وهذا الأمر يقنن امكانية عمل « موتور الحركة المنتظمة من النوع الثانى » (١١) والذى ينتزع الحرارة من الأجسام المادية عند درجات الحرارة العادية ، ومن ثم يخفض من درجاتها ويستخدم الطاقة الناتجة فى توليد حركة ميكانيكية . ومن المستحيل مثلا أن نصنع سفينة بخارية يتولد البخار فى غلايتها ليس عن احتراق الفحم ولكن نتيجة انتزاع الحرارة من ماء المحيط ، الذى يضخ أولا الى غرفة المحركات ثم يلقي ثانية الى سطح السفينة على شكل مكعبات من الثلج بعد فقدها للحرارة ولكن كيف اذن يمكن للمحرك البخارى العادى أن يحول الحرارة الى حركة دون أن يكسر قانون الانتروبيا ؟ لقد أمكن تدليل هذه العقبة بواسطة الحقيقة التى مؤداها أنه فى المحرك البخارى لا تشكل الحرارة المتحولة الى حركة الا جزءا فحسب من الطاقة الحرارية المنطلقة بالفعل من احتراق الوقود . وهناك جزء آخر أكبر من ذلك الجزء يتصاعد فى الهواء على شكل بخار ، أو تمتصه مبردات حرارة معدة لذلك خصيصا وفى هذه الحالة يكون لدينا تغيران عكسيان للانتروبيا فى نظامنا وهما :

١ - نقص الانتروبيا المقابل لتحويل جزء من الحرارة الى طاقة ميكانيكية عن طريق المكابس (البساتم) .

٢ - زيادة الانتروبيا الناشئة عن تدفق جزء آخر من الحرارة من غلايات الماء الساخنة الى المبردات . ويقضى قانون الانتروبيا بزيادة القيمة الكلية لانتروبيا النظام فحسب ، ويمكن بسهولة ترتيب ذلك عن طريق زيادة العنصر الثانى عن العنصر الأول . وربما أمكن فهم الوضع بصورة أفضل الى حد ما عن طريق التأمل فى مثال وضع ثقل وزنه ٥ رطل على

(١١) وقد سمي بذلك لتمييزه عن « موتور الحركة المنتظمة من النوع الاول » وذلك يخالف قانون ثبوت الطاقة حيث يعمل دون امداده بالطاقة .

رف مرتفع عن الأرض بمقدار ٦ أقدام . ووفقا لقانون بقاء الطاقة يستحيل تماما ارتفاع هذا الثقل في اتجاه السقف تلقائيا ودون أى مساعدة خارجية . ومن ناحية أخرى يمكن اسقاط جزء من هذا الثقل على الأرض واستخدام الطاقة المنطلقة بهذه الطريقة في رفع جزء آخر .

ويمكننا بطريقة مشابهة أن نقلل الانتروبيا في أحد أجزاء نظامنا ، اذا حدثت زيادة تعويضية فيها في الجزء الآخر .

ربعبارة أخرى يمكن بالنسبة للحركة غير المنتظمة للجزيئات أن نحدث شيئا من الانتظام في إحدى المناطق ، وذلك اذا لم يكن لدينا مانع من زيادة الفوضى في مناطق أخرى . وفي الكثير من الحالات العملية نجد أنه لا مانع لدينا من حدوث ذلك ، كما في كافة أنواع المحركات الحرارية .

٥ - الثقل الاحصائي :

لا شك أن المناقشات التي تمت في الجزء السابق قد أوضحت لك أن قانون الانتروبيا وما يترتب عليه من نتائج يعتمد كلية على الحقيقة التي مفادها أنه في الفيزياء واسعة النطاق نحن نتعامل دائما مع عدد هائل جدا من الجزيئات المنفصلة ، لذا فإن أى تنبؤ مبنى على اعتبارات احتمالية يكاد يكون حقيقة مطلقة . على أن هذا التنبؤ يصبح أقل تأكيدا عندما نتعرض لكميات صغيرة من المادة .

لذا فاذا أخذنا حجما صغيرا من الغاز كمثال بدلا من الحجرة الممتلئة بالهواء كما في مثالنا السابق ، ولنقل مثلا أننا سنعرض لدراسة مكعب حجمه $\frac{1}{2}$ من الميكرون (١٢) ، نجد أن الوضع يختلف تماما . حيث أن حجم المكعب يساوى 10^{-18} سم^٣ فسوف يحتوى فقط على $\frac{10^{-18} \times 10^{23}}{10^{-30} \times 3} = 30$ جزيئا ، ويكون احتمال تجمعها في نصف الحجم الكلى هو $(\frac{1}{2})^{30} = 10^{-9}$

ومن ناحية أخرى نجد أن الجزيئات يعاد ترتيبها بمعدل 10×10^9 مرة/ث (السرعة ٥ كم/ث والمسافة لا تزيد عن ١٠-٦ سم) ويرجع هذا المعدل الى شدة ضالة الحجم ، ولذا سنجد في كل ثانية تقريبا أن أحد نصفي المكعب خال . وبديهي أنه في الحالات التي يستقر فيها عدد معين من الجزيئات في أحد نصفي المكعب حالات شائعة الحدوث . لذا فعلى

(١٢) يرمز للميكرون عادة بالحرف الإغريقي μ (ميو) وهو يساوى ٠.٠٠١ سم .

سبيل المثال سوف تحدث الحالة التي تتوزع فيها الجزيئات بحيث يتجمع ٢٠ جزيئا في أحد الأركان و ١٠ جزيئات في الركن المقابل (أى بزيادة ١٠ جزيئات في ركن عن الآخر) بمعدل $(\frac{1}{4}) = 10^{-10} \times 5 \times 10^{10} = 10^{-10} \times 5 \times 10^3 = 10^{-7}$ ، أى ٥٠ مليون مرة في الثانية . .

لذا فان توزيع الجزيئات في الجو يكون في النطاق الضيق بعيدا عن التجانس . واذا استطعنا أن نوسع من خيالنا بقدر كاف سوف نلاحظ أن التجمع الصغير للجزيئات والذي يتم تلقائيا في مواضع مختلفة من الغاز سوف يتلاشى ثانية ويحل محله تجمع آخر مماثل في نقاط آخر . ويعرف هذا التأثير بتقلب الكثافة ويلعب دورا هاما في كثير من الظواهر الفلكية . وعلى سبيل المثال عندما تمر أشعة الشمس عبر الهواء الجوى ، يؤدي عدم التجانس الى تبعثر الأشعة الزرقاء للطيف مما يعطى السماء لونها المألوف ويجعل الشمس تبدو أكثر احمرارا من حقيقتها . وهذا التأثير (زيادة الاحمرار) يبدو أكثر وضوحا عند الغروب حينما يكون على أشعة الشمس أن تخترق طبقات أكثر سمكا من الهواء . ولولا هذه التقلبات في الكثافة لبدت السماء سوداء قاتمة ولأمكننا أن نرى النجوم في (عز الظهر) .

وشبيه بذلك وان كان أقل وضوحا ، ظاهرة تقلب الكثافة والضغط التي تحدث في السوائل العادية ، ويمكن وصف سبب الحركة البراونية بشكل آخر عندما نقول أن الجسيمات المعلقة في الماء تدفع ذهابا وإيابا نتيجة للتغيرات السريعة في الضغط الواقع على جانبيه . وعندما يسخن السائل حتى يقترب من نقطة الغليان تصبح ظاهرة تقلب في الكثافة أكثر وضوحا وتؤدي الى ظهور قدر من اللمعان .

ونستطيع الآن أن نسأل أنفسنا عما اذا كان قانون الانتروبيا ينطبق أيضا على الأجسام الصغيرة مثل هذه الأجسام التي تصبح التقلبات الاحصائية فيها ذات أهمية قصوى . ولا شك أن البكتيريا التي تقضى حياتها تتقلب تحت التأثير الجزيئى سوف تسخر من جملة تقول ان الحرارة لا يمكن أن تتحول الى طاقة ميكانيكية ! ولكن الأصوب في مثل هذه الحالة أن نقول ان قانون الانتروبيا يفقد مدلوله بدلا من أن نقول انه يتحطم . والحق أن قصارى ما يذهب اليه هذا القانون هو أن الحركة الجزيئية لا يمكن أن تتحول الى حركة بالكامل بالنسبة للأجسام التي تحتوى على عدد هائل من الجزيئات المنفصلة . وبالنسبة للخلية البكتيرية التي لا تزيد في الحجم كثيرا عن الجزيء - يختفى الفارق بين الحركة الحرارية والميكانيكية في الواقع العملي ، ويمكن تشبيه المصادمات الجزيئية التي تقلب البكتيريا في جميع الأنحاء تماما بالركلات التي تصيبنا من اخواننا المواطنين في مظاهرة

صاحبة . ولو كنا بكتيريا لاستطعنا تصميم محرك حركة منتظمة من النوع الثانى عن طريق مجرد ربط أنفسنا بعجلة حرة ، ولكننا فى هذه الحالة سنفتقر الى العقل سر هذا التقدم . وهكذا لا يوجد ما يبرر الحزن الذى قد نشعر به لأننا لسنا بكتيريا !

ومن التناقضات التى تظهر لقانون تزايد الانتروبيا ذلك التناقض المتمثل فى الأنظمة العضوية . والواقع أن النبات النامى يحصل على جزيئات بسيطة من ثانى اكسيد الكربون (من الهواء) والماء (من الأرض) ويؤلف بينهما فى صورة جزيئات عضوية معقدة هى التى تكون جسم النبات . وينطوى التحول من جزيئات بسيطة الى أخرى معقدة على نقص الانتروبيا ، والواقع أن العملية العادية التى تزيد فيها الانتروبيا فعلا هى احتراق الخشب ، وتحلل جزيئاته الى ثانى اكسيد الكربون ، وبخار الماء . هل تخالف النباتات حقا قانون تزايد الانتروبيا بالاستعانة فى نموها بشئ غامض هو اكسير الحياة (*) (القوة الحيوية) الذى طالما دافع عن وجوده الفلاسفة القدماء ؟ .

ان تحليل هذا السؤال يوحى بعدم وجود تناقض ، اذ أن النبات يحتاج فى نموه بالاضافة الى الماء وثانى اكسيد الكربون الى الكثير من ضوء الشمس . وفيما عدا الطاقة التى تختزن فى مادة النبات النامى وقد تتحرر مرة أخرى عند احتراق النبات فان أشعة الشمس تحمل ما يطلق عليه « الانتروبيا السالبة » (انتروبيا منخفضة المستوى) والتى تختفى عند امتصاص الأوراق الخضراء للضوء وهكذا فان عملية التمثيل الضوئى التى تتم فى أوراق النباتات تنطوى على عمليتين وثيقتى الصلة وهما :
(أ) تحول الطاقة الضوئية لأشعة الشمس الى طاقة كيميائية ذات تركيب عضوى معقد .

(ب) استخدام الانتروبيا منخفضة المستوى فى أشعة الشمس لحفظ الانتروبيا المصاحبة لتحويل الجزيئات البسيطة الى جزيئات معقدة . وبلغت « النظام مقابل الفوضى » يستطيع المرء أن يقول انه عند امتصاص الأوراق الخضراء لأشعة الشمس فان الأشعة تسلب نظامها الداخلى الذى مكنها من الوصول الى الأرض ، ويتصل هذا النظام بالجزيئات فيسمح لها ببناء جزيئات أكثر تعقيدا ، وأكثر نظاما وترتيباً . وفى حين أن النباتات تبني أجسامها من مركبات غير عضوية ، وتحصل على الانتروبيا السالبة (النظام) من أشعة الشمس ، نجد أن الحيوانات يجب أن تتغذى على النباتات (أو تتغذى ببعضها البعض) للحصول على هذه الانتروبيا السالبة فتصبح ، اذا جاز لنا القول ، كمن يحصل على سلعة مستعملة .

الفصل التاسع

لغز الحياة

١ - نحن نتكون من خلايا :

عند مناقشتنا لبنية المادة تجاهلنا حتى الآن الإشارة ولو من بعيد الى مجموعة صغيرة نسبيا الا أنها غاية في الأهمية ، وهى الأجسام المادية التى تختلف عن كافة الأجسام الأخرى فى الكون من حيث أنها أجسام حية . فما الذى يجسد الفارق الهام بين المادة الحية وغير الحية ؟ وما مدى معقولية الأمل الذى يحدونا فى فهم ظاهرة الحياة باستخدام القوانين الفيزيكية التى نجحت فى تفسير خواص المادة غير الحية ؟ .

وعندما نتحدث عن ظاهرة الحياة فإن ما يخطر ببالنا عادة لا يخرج عن مجموعة كبيرة نسبيا من النظم الحية المعقدة مثل الشجرة ، والحصان ، والانسان . ولكن محاولة دراسة الخواص الأساسية للمادة الحية عن طريق البحث فى مثل هذه النظم المعقدة ككل سوف يكون أمرا عقيما ، تماما مثل العمل على دراسة بنية المواد غير العضوية بالنظر الى بناء كلى معقد مثل السيارة .

والعقبات التى تواجهنا فى هذا الأمر تظهر لنا حين ندرك أن السيارة الكاملة مكوّنة من آلاف الأجزاء ذات الأشكال المختلفة والمصنوعة من مواد مختلفة ، وفى حالات فيزيقية أيضا مختلفة . فالبعض منها (مثل الهيكل الصلب ، والأسلاك النحاسية ، والزجاج) يكون فى حالة صلبة ، والبعض الآخر (مثل الماء فى المشع الحرارى (الرادياتير) ، والوقود فى الخزان ،

واسطوانة الزيت) يكون سائلا ، والبعض (مثل الحليط الذي يغذى الاسطوانة ويأتى من الكربن (الكربوريتور) يكون غازيا . ان أول خطوة اذن فى تحليل مادة معقدة كتلك التى فى السيارة فى تحليلها الى مكونات منفصلة فى حالات فيزيائية متجانسة . وهكذا نجد أنها تتكون من مواد معدنية شتى (كالصلب ، والنحاس ، والكروم . . . الخ) وعناصر زجاجية مختلفة (كالزجاج ، والبلاستيك) وسوائل متجانسة مختلفة (كالماء والجازولين) . الخ . الخ .

وبعد ذلك نستطيع أن نبدأ العمل فنجد باستخدام طرق الاختبار الفيزيائية المتاحة أن الأجزاء النحاسية تتكون من بلورات صغيرة متشابهة ، وبلورة النحاس تتركب من طبقات منتظمة مرتبة بحيث تعتمد على بعضها البعض ، وأن الماء فى مشع الحرارة يتكون من عدد كبير من جزيئات الماء المتباعدة نسبيا والتي قوامها ذرة هيدروجين وذرتى اكسجين لكل منها ، وأن خليط الكربن الذى يتصاعد عبر الصمامات الى الاسطوانات (السلندرات) يتكون من حشد من الجزيئات الحرة لأكسجين الهواء الجوى وجزيئات النيتروجين المختلطة بجزيئات من بخار الجازولين والتي تكون بدورها مكونة من ذرات الكربون والهيدروجين .

وبالمثل يجب عند تحليل نظام حى معقد مثل جسم الانسان أن نحلله الى أعضاء منفصلة ، مثل المخ ، والقلب ، والمعدة ثم الى **المواد البيولوجية** المتجانسة وتسمى « الأنسجة » .

والأنواع المختلفة من الأنسجة هى المادة التى تتكون منها النظم الحية ، وهذا يشبه أجزاء الآلات التى يكون كل جزء فيها متجانسا وقد يختلف عن الآخر ويعتبر علما التشريح والفسولوجى (*) - وهما المعنيان بتحليل وظائف النظم الحية من حيث خواص **الأنسجة** المختلفة - شبيهين فى هذا السياق بعلم الهندسة الذى يعتمد على الخواص الميكانيكية والمغناطيسية والكهرية بالاضافة الى التصميم فى بناء الأجزاء المختلفة العمل فى الآلة .

ولذا فان الاجابة على لغز الحياة لا يمكن التوصل اليها بمجرد النظر فى كيفية تراص هذه الأنسجة فى نظم معقدة ، ولكن بالنظر فى طريقة بناء هذه الأنسجة من الذرات كل على حدة ، بحيث ينشأ عنها فى النهاية أنواع شتى من الحياة .

(*) علم وظائف الأعضاء

ومن الخطأ الجسيم أن نعتقد أن النسيج البيولوجى المتجانس الحى يمكن مقارنته بالمواد الفيزيكية العادية والمتجانسة . والواقع أن التحليل الميكروسكوبى الأولى لأى نسيج يتم اختياره عشوائيا (سواء كان من الجلد أو العضلات أو المخ) يشير الى أنه يتكون من عدد كبير من الوحدات المفردة التى تحدد طبيعتها الى حد كبير خواص النسيج بأكمله (شكل ٩) . وتعرف هذه الوحدات البنائية الأولية فى المادة الحية عادة باسم « الخلايا » ويمكن أيضا أن يطلق عليها « الذرات البيولوجية » (أى « غير المرئية ») بمعنى أن الخواص البيولوجية لأى نوع من الأنسجة لا تتغير مادام محتويا على خلية واحدة على الأقل .

فالنسيج العضلى الذى يختزل الى نصف خلية مثلا يفقد كافة خواص العضلة من انقباض وغير ذلك ، تماما كما هو الحال فى قطعة من سلك ماغنسيوم تختزل الى نصف ذرة فتفقد انتسابها الى هذا المعدن وتصبح مجرد قطعة غير مرئية من الفحم (١) !! ان الخلايا المكونة للأنسجة تعتبر صغيرة نوعا ما (متوسط طول القطاع العرضى فيها يساوى $\frac{1}{100}$ (٢) ملليمتر) . ويتركب أى نوع من النباتات المعروفة من عدد هائل من الخلايا المنفصلة .

أما جسم الانسان البالغ فيحتوى على مئات الآلاف من بلايين الخلايا .

أما النظم الأصغر حجما فتتكون بالطبع من عدد أقل من الخلايا ، فالذبابة المنزلية مثلا أو النملة تحتوى على عدد لا يزيد على بضعة مئات من ملايين الخلايا . وهناك أيضا مجموعة كبيرة من النظم وحيدة الخلية ، فطر الأميبا (ومنه الأميبا التى تؤدى الى الإصابة بمرض « القسوبا الحلقية ») ، وكذا العديد من أنواع البكتيريا وحيدة الخلية التى تتعذر

(١) بالرجوع الى موضوع بنية الذرة تجد أن ذرة الماغنسيوم (الرقم الذرى ١٢ ، والوزن الذرى ٢٤) تتركب من نواة تحتوى على ١٢ بروتون و ١٢ نيوترون ويحيط بها غلاف يحتوى على ١٢ إلكترون . وبقسمة هذه الأرقام على ٢ نحصل على ذرتين جديدتين تحتوى كل منهما على ٦ بروتونات نووية ، ٦ نيوترونات ، ٦ إلكترونات خارجية أو بعبارة أخرى نحصل على ذرتى كربون .

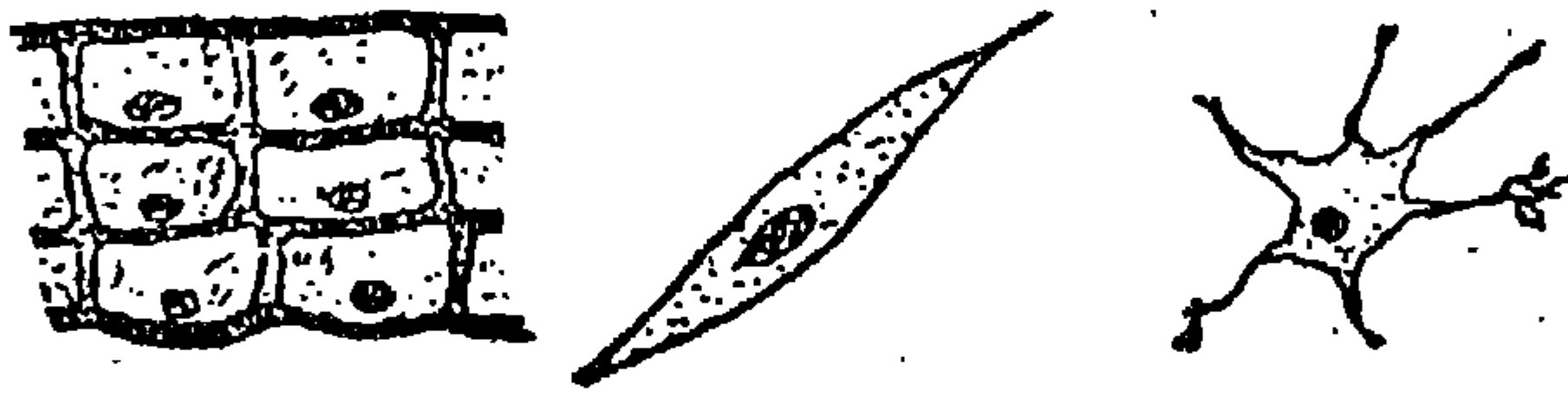
(٢) أحيانا تصل خلايا معينة الى أحجام عملاقة مثل صفار البيض الذى يعتبر خلية واحدة . ورغم ذلك فإن الجزء الحى فيها وهو المسئول عن حياتها لا يتعدى حجمه الميكروسكوبى ، حيث أن الكتلة الضخمة من المادة الصفراء ما هى الا الطعام المتراكم الذى يساعد على نمو فرخ الدجاج .

رؤيتها دون استخدام ميكروسكوب قوى . وتعتبر دراسة هذا النوع من الخلايا الحية التى لا تتأثر بأى « وظائف اجتماعية » قد تفرض عليها لولا أنها ليست جزءا فى أى نظام معقد - من أكثر فصول البيولوجيا إثارة . وحتى يتسنى لنا فهم مشكلة الحياة بوجه عام ، ينبغي علينا أن نبحث عن الحل فى بنية الخلايا الحية وخواصها .

وما هى الخواص التى تميز الخلايا الحية عن المواد غير العضوية العادية ، أو عن المادة الموجودة فى الخلايا الميتة مثلا خلايا خشب المكتب أو جلد الحذاء ؟ .

ان الخواص الأساسية المميزة للخلية الحية تكمن فى قدراتها على :

- ١ - الحصول على المواد الضرورية لبنائها من الوسط المحيط بها .
- ٢ - تحويل هذه المواد الى عناصر تستخدم فى نمو أجسامها .
- ٣ - انقسامها الى خلايا متماثلة كل خلية منها تساوى فى الحجم نصف الخلية الأصلية (وقادرة على النمو) عندما تصبح أبعادها الهندسية أكبر من اللازم . وهذه القدرات « الأكل » و « النمو » و « التكاثر » تعتبر بالطبع صفات شائعة فى كافة النظم الأكثر تعقيدا والمكونة من خلايا متجاورة .



خلايا النبات

خلية من نسيج عضلي

خلية من نسيج مخي

(شكل رقم ٩٠)

خلايا من انواع مختلفة

وربما اعترض أحد القراء من ذوى العقول الناقدة بقوله ان هذه الثلاث الخواص يمكن أن توجد كذلك فى المواد غير العضوية العادية . فمثلا اذا أسقطنا بلورة ملح صغيرة فى محلول ملحي مائي فوق مشبع (٣)

(٣) يمكن أعداد محلول فوق مشبع بإذابة كمية كبيرة من الملح فى ماء ساخن ثم تبريده الى درجة حرارة الغرفة ، وحيث أن قابلية الذوبان فى الماء تتناقص بانخفاض درجة الحرارة فان جزيئات الملح الموجودة فى الماء ستزيد عن قدرة الماء على الاحتفاظ بها فى المحلول . ومع ذلك فان جزيئات الملح الزائد سوف تبقى فى المحلول لمدة طويلة جدا ما لم نضع بلورة صغيرة يمكن اذا صح التعبير أن تعطى النبضة الأولى وتعمل باعتبارها نوعا من العامل المنظم لخروج جزيئات الملح من المحلول .

سوف تنمو باضافة طبقات متتالية من جزيئات الملح المنتزعة (أو بالأحرى « المطرودة ») من الماء . بل نستطيع أن نتخيل أن هذه البلورات سوف تنقسم الى جزئين بعد الوصول الى حجم معين نتيجة لتعرضها لتأثير ميكانيكى معين مثل زيادة وزن البلورة المتنامية ، وأن « البلور الوليد » الناتج من ذلك سوف يستمر فى النمو . فلم لا توصف هذه العملية أيضا بأنها « ظاهرة حية » ؟ .

وللاجابة على هذا السؤال وغيره من الأسئلة الشبيهة به لابد أولا من القول بأن اعتبار الحياة مجرد صورة أكثر تعقيدا من صور الظواهر الطبيعية والكيميائية العادية يجعلنا مهينين لعدم وجود خط فاصل ومحدد بين الأمرين . وبالمثل فان استخدام القوانين الاحصائية فى وصف سلوك الغاز المكون من عدد هائل من الجزيئات (انظر الفصل الثامن) يجعلنا عاجزين عن تحديد مدى صلاحيته .

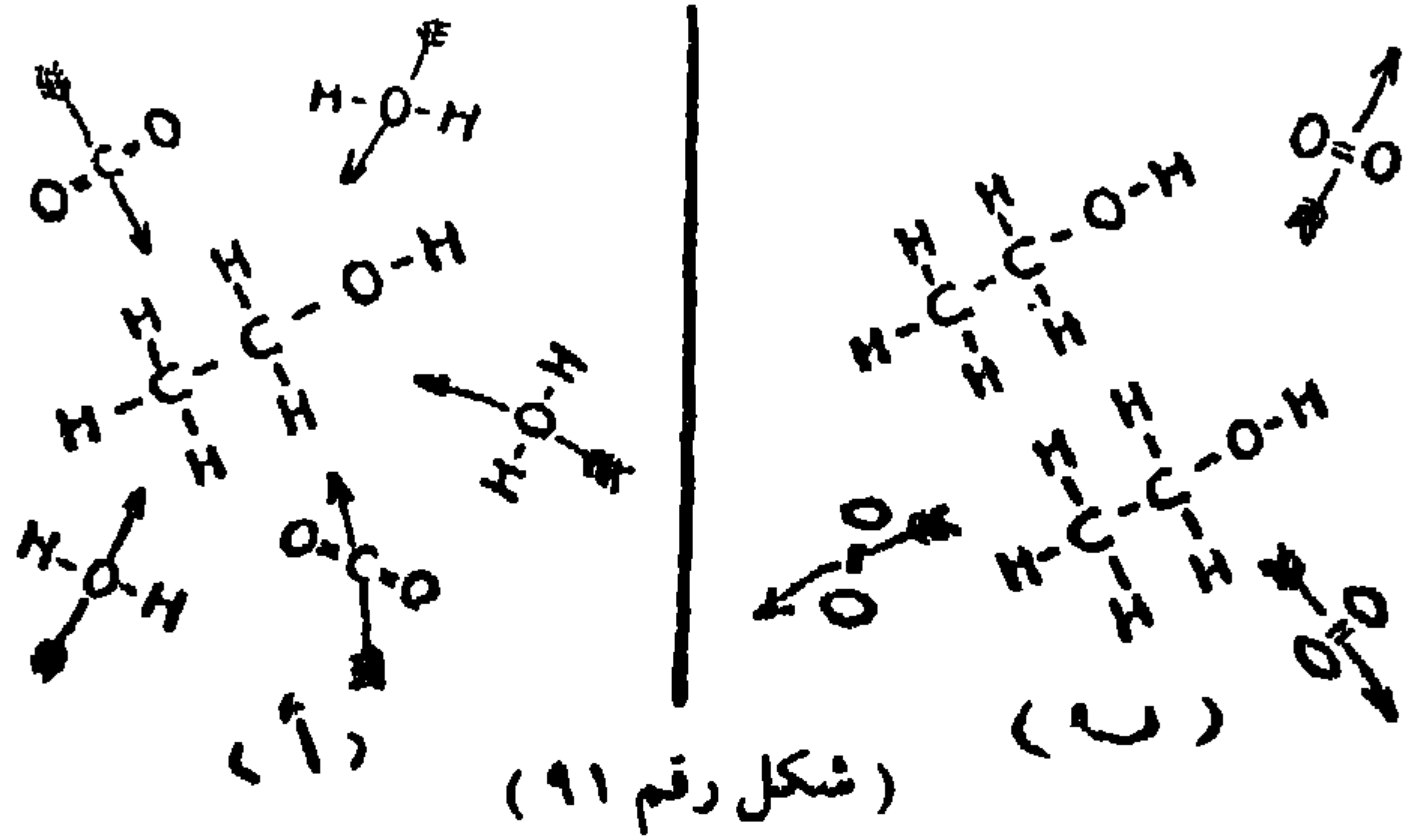
والحق أننا نعلم أن الهواء الجوى لن يتجمع فى أحد أركان الحجرة فجأة أو على الأقل تكون فرص حدوث هذا الأمر غير العادى ضئيلة حتى يمكن إهمالها . ومن ناحية أخرى نحن نعرف أيضا أنه لو كان عدد الجزيئات فى الحجرة لا يزيد عن اثنين أو ثلاثة أو أربعة لتجمعت فى ركن واحد أكثر من مرة .

فأين يوجد الخط الفاصل بين العدد الذى يمكن أن تنطبق عليه الجملة الأولى والعدد الذى تتحقق فيه الثانية ؟ هل هو ألف جزىء ؟ أم مليون ؟ أم بليون ؟ .

وبالمثل فان دراسة العمليات الحية الاولى لا ينتظر منها العشور على خط فاصل بين بعض الظواهر الجزيئية البسيطة مثل تبلور الملح فى محلول مائى له والظواهر الأكثر تعقيدا رغم أنها لا تختلف فى عملها من حيث الأساس . مثل ظاهرة نمو وانقسام الخلية الحية . وبالنسبة لهذا المثال بالذات نستطيع أن نقول مع ذلك ان نمو البلورات فى محلول لا يجب النظر اليه باعتباره ظاهرة حية لأن « الغذاء » الذى تستعمله البلورات فى نموها يتم تمثيله داخلها دون حدوث تغير فى شكله الذى يوجد عليه فى المحلول . وجزء الملح الذى سبق مزجه مع جزيئات الماء يتجمع ببساطة على سطح البلورة النامية . ونحن هنا حيال ظاهرة تراكم ميكانيكى عاد للمادة بدلا من عملية تمثيل الغذاء بيولوجيا . على أن تضاعف البلورات نتيجة لانفلاتها الى أجزاء غير منتظمة وغير محددة الأبعاد مسبقا ونتيجة للقوى الميكانيكية الناشئة عن الرزن - . يؤدي الى حدوث عملية

تشبه الانقسام البيولوجى فى الخلايا الحية الى انصاف خلايا والتي تحدث نتيجة لقوى داخلية .

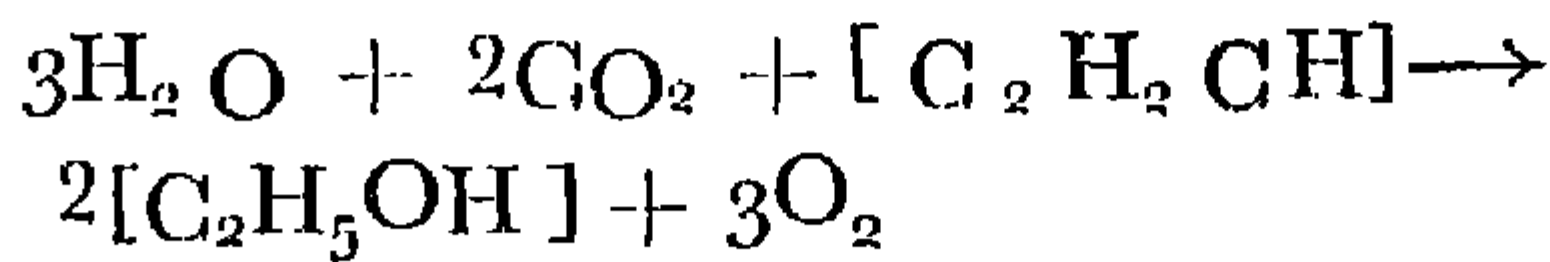
ومثلا لو كان وجود جزيء كحول مفرد (C_2H_5OH) فى محلول مائى غاز ثانى اكسيد الكربون ، سوف يودى الى بدء عملية تمثيل ذاتى يكون من شأنها فك الروابط بين جزيئات (H_2O) فى الماء واحدة بعد الأخرى وجزيئات (O_2) ، لغاز المذاب مكونة جزيئا كحول جديد (٤) لكان ذلك جسرا يقرب بين هذه العملية العمليات البيولوجية . والحقيقة لو أن وجود قطرة خمر فى زجاجة صودا عادية سيؤدى الى تحويل هذه الصودا الى خمر نقى لكان لزاما علينا أن نعتبر الكحول مادة حية !



صورة مبسطة للأسلوب الذى يمكن به لجزيء الكحول أن ينظم جزيئات الماء وثانى اكسيد الكربون محولا اياها الى جزيء كحول جديد . ولو كانت هذه العملية من عمليات « التمثيل الذاتى » للكحول ممكنة لكان علينا أن نصنف الكحول باعتباره من المواد الحية .

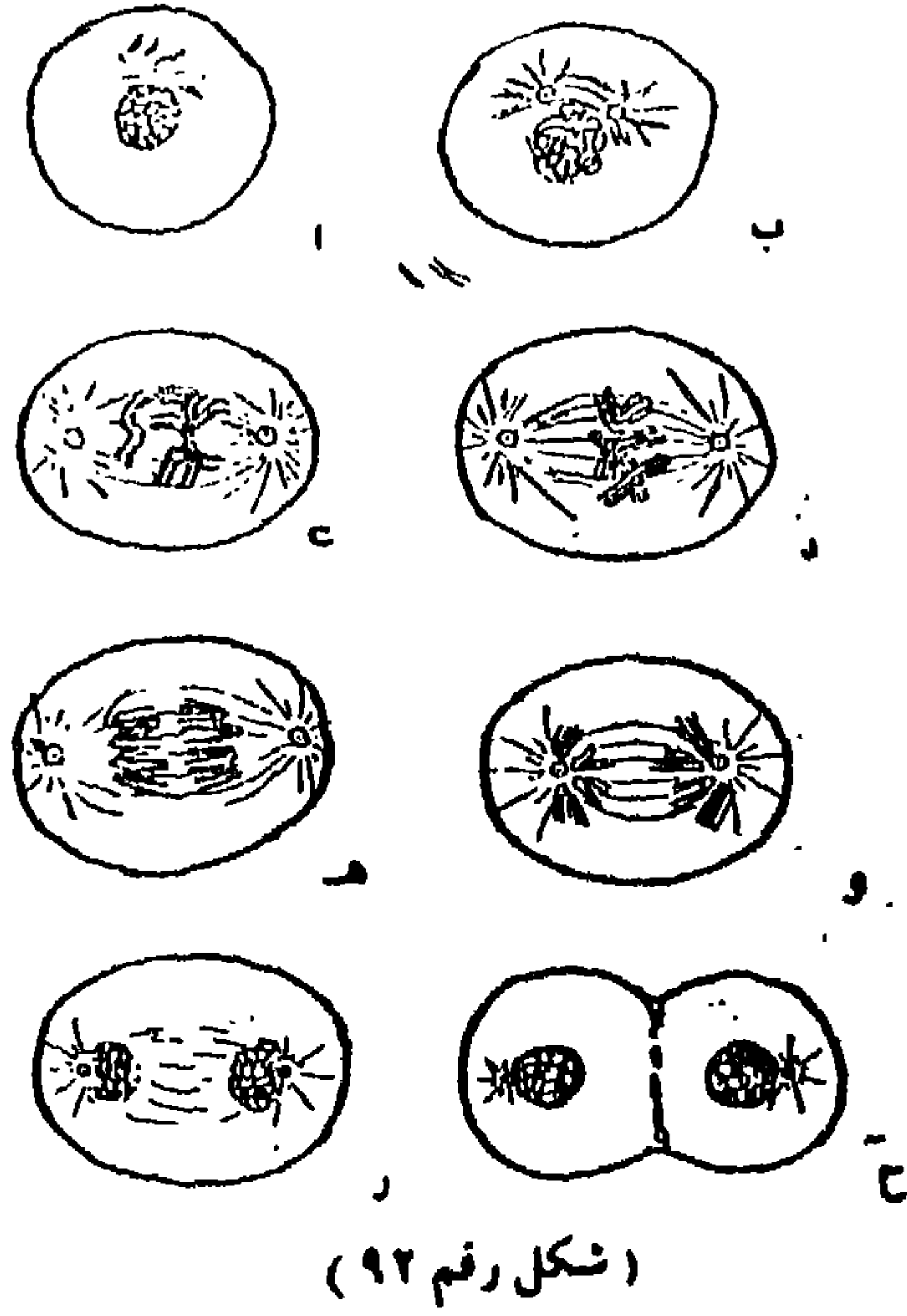
ان هذا المثال ليس عجيبا كما يتراءى لك ، اذ أنه توجد مواد كيميائية معقدة تعرف بالفيروسات وتقوم جزيئاتها المعقدة الى حد ما (تتكون هذه الجزيئات من مئات الآلاف من الذرات) بأداء وظيفة لبقية الجزيئات الأخرى من الوسط المحيط بحيث تحولها الى وحدات بنائية شبيهة بها وسوف نعرض لهذا فيما بعد . ونعتبر هذه الجسيمات الفيروسية جزيئات كيميائية عادية كما تعتبر فى الوقت ذاته من النظم الحية ، وهى بذلك تمثل « الحلقة المفقودة » بين المادة الحية والمادة غير الحية .

(٤) حيث التفاعل المفترض هو :



وبدا يودى وجود جزيء كحول واحد الى تكوين جزيء آخر .

ولكن علينا الآن أن نعود الى مشكلة نمو وتكاثر الخلايا العادية التي رغم شدة تعقيدها تعتبر أبسط من الجزيئات ولا بد من النظر اليها بوصفها أبسط النظم الحية .



المراحل المتتابة لعملية انقسام الخلية انقساماً قتيلاً

فاذا نظرنا الى خلية نموذجية تحت الميكروسكوب نرى أنها مكونة من مادة هلامية شبه شفافة ذات تركيب كيميائي معقد جداً ، ويطلق عليها البروتوبلازم . وهي محاطة بجدار الخلية الذي يكون دقيقاً ومرناً في الخلايا الحيوانية ، وسميكا وثقيلاً في الخلايا النباتية المختلفة مما يكسب أجسام النباتات درجة عالية من الصلابة (انظر شكل ٩٠) . وتحتوى كل خلية من الداخل على جسم كروي صغير يعرف بالنواة التي تتكون من شبكة دقيقة من المادة المعروفة بالكروماتين (شكل ٩٢) . ويصدر بنا هنا ملاحظة أن أجزاء البروتوبلازم المختلفة التي يتكون منها جسم الخلية تكون ذات شفافية بصرية تحت الظروف العادية لذا لا يمكن ملاحظة بنية الخلية بمجرد النظر اليها تحت الميكروسكوب . وحتى يمكن رؤية هذا البناء ينبغي علينا أن نصبغ مادة الخلية اعتماداً على أن هذه الأجزاء تمتص الصبغة وفق درجات مختلفة . ونعتبر المادة المكونة لشبكة النواة

أكثر قبولاً للصباغة بصفة خاصة ، وتظهر بوضوح للعيان ولو كان وراءها خلفية فاتحة اللون (٥) . ومن هنا جاء الاسم كروماتين الذي يعنى باليونانية « مادة تقبل الصبغة » .

وعندما تستعد الخلية لعملية الانقسام الحية يصبح هيكل الشبكة النووية أكثر تفصيلاً مما كان ويبدو مكوناً من عدد من الجسيمات المنفصلة (شكل ٢) على شكل ألياف أو قضبان عادة وتسمى بالكروموزومات (أى أجسام تقبل الصبغة وتحتوى كافة الخلايا فى أى نوع من المخلوقات الحية (فيما عدا الأنواع المعروفة بالخلايا التناسلية) على نفس عدد الكروموزومات ويكون عددها فى النظم الحية المتطورة أكثر من هذا العدد فى النظم الأقل تطوراً عادة .

ان ذبابة الفاكهة الصغيرة التى تفخر بحمل اسمها اللاتينى « دروسوفيللا ميلانوجاستر » (*) ، التى ساعدت البيولوجيين فى فهم الكثير مما استغلوا عليهم من الغاز الحياتى لا تحتوى فى كل خلية من خلاياها الا على ثمانية كروموزومات . بينما تحتوى خلية نبات البازلاء على أربعة عشر كروموزوماً ، والقمح على عشرين كروموزوماً . والبيولوجيون وهم من البشر لا يختلفون من حيث ذلك عنهم يفخرون بحمل ثمانية وأربعين كروموزوماً فى كل خلية . وربما كان هذا برهاناً حسابياً بحثاً على أن الانسان أفضل من الذبابة بست مرات ، لولا هذا الجدل الذى انتهى الى أن جراد البحر بكروموزوماته التى تبلغ مائتى كروموزوماً أفضل من الانسان بأربع مرات على الأقل بتطبيق نفس المنطق ! .

والمهم بالنسبة لعدد كروموزومات الخلية فى مختلف أنواع الكائنات الحية أن هذا العدد يكون دائماً زوجياً ، والواقع أنه يوجد فى أى خلية حية (مع استثناء واحد سنناقشه فيما بعد) طاقمان متطابقان تقريباً من

(٥) نستطيع استخدام أسلوب مماثل عن طريق كتابة شئ على قطعة من الورق باستخدام مادة شمعية . وسوف تبقى الكتابة مختفية حتى تحاول تظليل الورقة باستخدام قلم رصاص اسود . وحيث أن الجرافيت لن يعلق بالأماكن المدهونة بالشمع فإن الكتابة ستظهر واضحة فى خلفية مظلمة .

(٦) يجدر بنا أن نتذكر أن عملية صباغة الخلية الحية تقتلها عادة ومن ثم تحول دون نموها بعد ذلك . ولذا فإن الصور المتتابعة للانقسام الخلوى مثل تلك الصور فى (شكل ٩٢) لا ينم الحصول عليها بملاحظة خلية واحدة ، ولكن بواسطة صباغة وقتل خلايا مختلفة فى شتى مراحل النمو . ومع ذلك فإن هذا من حيث المبدأ لا يؤدى الى خسوف أى فارق ملحوظ .

(*) *Drosophila melanogaster*

الكروموزومات يأتي أحدهما من الأم والآخر من الأب . ويحمل هذان الطاقمان الآتيان من الأبوين الصفات الوراثية المعقدة التي تنتقل من جيل إلى جيل إلى آخر من الكائنات الحية .

ويبدأ انقسام الخلية بالكروموزومات حيث ينقسم كل منها طوليا وبانتظام إلى نصفين متطابقين وان كانت ألياقهما أدق بينما تبقى الخلية ككل دون أن تمس وتظل وحدة واحدة (شكل ٩٢ أ) .

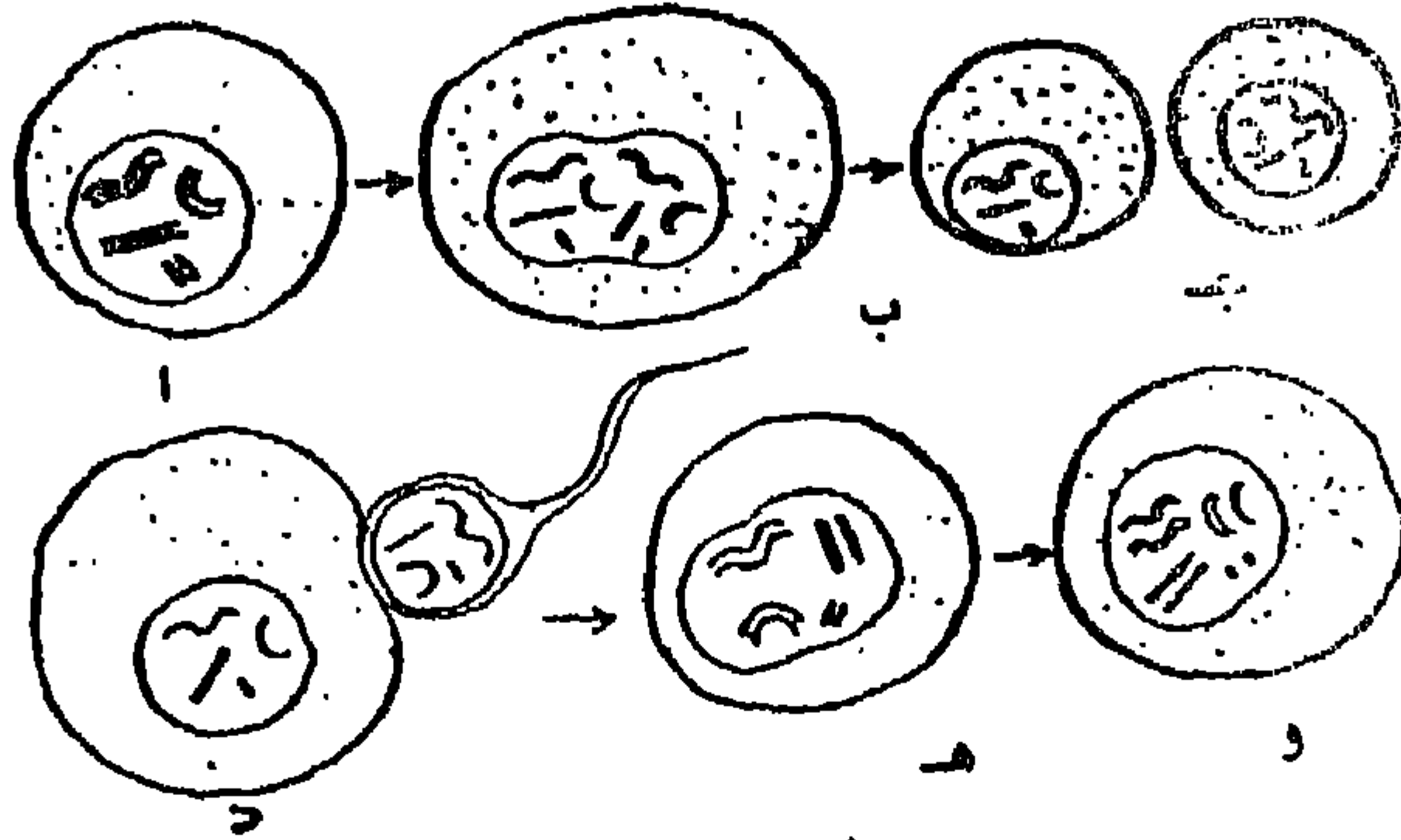
أما عن المرحلة التي تبدأ عندها الكروموزومات المتشابهة أصلا في الاستعداد للانقسام ، فهناك نقطتان تعرفان بالجسيمين المركزيين (سنتروزوم) وتقعان بالقرب من بعضهما قريبا من الخط الخارجى للنواة . ويبدأ هذان الجسيمان فى الابتعاد عن بعضهما تدريجيا إلى طرفى الخلية (شكل ٩٢ ب ج) وتظهر أيضا خيوط رفيعة تصل هذين الجسيمين بالكروموزومات داخل النواة . وعندما تنقسم الكروموزومات إلى نصفين يتصل كل كروموزوم بالسنتروزوم المقابل له فى الاتجاه ويجذب بشدة بعيدا عن الآخر نتيجة لانكماش الخيوط (شكل ٩٢ د ، هـ ، و) . وعندما تقارب هذه العملية على الانتهاء (شكل ٩٢ ز) يبدأ جدار الخلية فى الاختناق على امتداد خط مركزى ، ويظهر جدار دقيق بعرض كل نصف فى الخلية وينفصل النصفان عن بعضهما ليصبحا خليتين جديدتين مميزتين .

وإذا حصلت الخليتان الجديدتان على الطعام الكافى من الخارج فانهما تنموان لتصبحا فى حجم الأم (معامل ٢) وبعد فترة استرخاء معينة يبدأ الانقسام فيهما بنفس النظام الذى سبق أن مرا به .

ويأتى هذا الوصف لخطوات انقسام الخلية المرحلى نتيجة للمشاهدة المباشرة ، وهو قصارى ما وصل العلم إليه فى محاولاته لتفسير هذه الظاهرة حيث أن ما تمت مشاهدته بالنسبة لطبيعة القوى الكيميائية الطبيعية المسئولة عن الانقسام لا يزال قليلا للغاية . ويبدو أن الخلية باعتبارها كل متكامل لا تزال أكثر تعقيدا بالنسبة للتحليل الفيزيائى المباشر ، وقبل الاقدام على هذا المعترك لابد للمرء أن يفهم طبيعة الكروموزومات - وهى مشكلة قد تبدو عند مقارنتها بالانقسام أقل تعقيدا وسوف نتعرض لها فى الجزء التالى .

ولكن من المفيد أولا أن نتأمل فى مسئولية انقسام الخلية عن عمليات التولد فى النظم الحية المعقدة التى تتكون من عدد كبير من الخلايا . وربما راق لنا أن نسأل الآن ما الذى يأتى أولا البيضة أم الدجاجة ولكن الحق

أننا عندما نتعرض لوصف عملية دائرية كهذه فلا يهم أن نبدأ «بالبيضة»
أو نبدأ « بالدجاجة » (أو أى حيوان آخر) .



(شكل رقم ٩٣)

تكون الأمشاج (ا ، ب ، ج) وتلقيح خلية البيضة (د ، ه ، و) فى العملية
الاولى (انقسام منصف) تنقسم أزواج الكروموزومات فى الخلية الأم الى
« نصفى خلية » دون انقسام تمهيدى . وفى العملية الثانية (اقتران) تخترق
خلية الحيوان النوى جدار البيضة وتزدوج الكروموزومات . ونتيجة لذلك تبدأ
العملية الملقحة فى الاستعداد لانقسام عاد كما يتضح من الشكل السابق (٩٢)

واقترض أننا سنبدأ « بالدجاجة » التى قد خرجت من البيضة حالا
فعند لحظة الفقس (أو المولد) تمر الخلايا فى جسدها بعمليات انقسام
متوالية وبالتالي تؤدي الى تطور الجسم ونموه بسرعة . واذا تذكرنا
أن جسم الحيوان البالغ يحتوى على آلاف البلايين من الخلايا التى خرجت
الى حيز الوجود نتيجة للانقسامات المتتالية فى خلية بيضة ملقحة واحدة ،
فمن الطبيعى أن نزن لأول وهلة أنه حتى تتحقق هذه النتيجة فلا بد من
حدوث عدد هائل من عمليات الانقسام وليس عليك الا أن تتذكر العدد
الذى بدأ به « سيزا بن ظاهر » من حبات القمح على وعد بمضاعفته فى
متوالية هندسية عدد حدودها ٦٤ ، أو عدد الأعوام الكافية لاعادة ترتيب
٦٤ قرصا فى مشكلة نهاية العالم التى تعرضنا لها فى الفصل الأول ،
وعندئذ سنجد أن عمليات الانقسام الواجب حدوثها فى جسم الحيوان هى
أقل نسبيا من الأعداد السابقة ، فاذا رمزنا لعدد عمليات الانقسام المتتالية
التي يجب حدوثها فى الكائن الحى حتى النمو بالرمز س ، وتذكرنا بعد
ذلك أن كل انقسام يعنى مضاعفة العدد (اذ تصبح كل خلية خليتين)
نستطيع التوصل الى العدد الكلى للانقسامات التى تحدث فى خلايا الجسم
البشرى بدءا من تلقيح البويضة حتى البلوغ بالتعويض فى المعادلة :

$$٢ \text{ س} = ١٤١٠ \text{ وسنجد أن س} = ٤٧$$

وهكذا نرى أن كل خلية فى جسدنا البالغ تعتبر عضوا من الجيل
الحمسين تقريبا للخلية الأصلية المسئولة عن وجودنا (٧) .

وعلى الرغم من أن الخلايا تنقسم فى الحيوانات الصغيرة بمعدل أسرع
إلا أن أغلب خلايا الأفراد البالغين تكون فى « حالة استرخاء » ولا تنقسم
إلا بصفة عارضة للمحافظة على « بقاء الجسم » أثناء فترة العمر وتعويض
التلف والتآكل .

والآن نصل إلى نوع خاص وهام جدا من انقسام الخلية الذى يؤدي
إلى تكوين ما يعرف بـ « المشيج » أو « الخلايا التناسلية » المسئولة عن
ظاهرة التوالد .

ويحدث فى أولى مراحل العمر فى أى نظام حى ثنائى الجنس ، أن
يجنب عدد من الخلايا « احتياطيا » لعملية التكاثر فيما بعد . وتوجد هذه
الخلايا فى أعضاء تناسلية خاصة وتمر بعدد من عمليات الانقسام العادية
- أثناء نمو النظام - أقل من العدد الذى تمر به أى خلية أخرى ، وتبقى
هذه الخلايا نشطة وسريعة الاستجابة عندما تستدعى لإنتاج ذرية جديدة .
كما أن انقسام هذا النوع من الخلايا التناسلية يتم فى خطوات أبسط
بكثير من خطوات الانقسام العادى لخلايا الجسد . فالكروموزومات المكونة
لأنويتها لا تنقسم إلى نصفين كما فى الخلية العادية ولكنها تنفصل عن
بعضها ببساطة (شكل ٩٣ أ ، ب ، ج) ، وهكذا تحصل كل خلية
وليدة على نصف طاقم الكروموزومات الأصلية .

وتعرف العملية المؤدية إلى هذا الاختزال الكروموزومى بعملية
« الانقسام المنصف » على خلاف عملية الانقسام العادية المعروفة
بـ « الانقسام الفنىلى » . وتعرف الخلايا الناتجة عن هذا الانقسام باسم
« الحيوانات المنوية » و « البويضات » أو الأمشاج الذكرية والأنثوية .

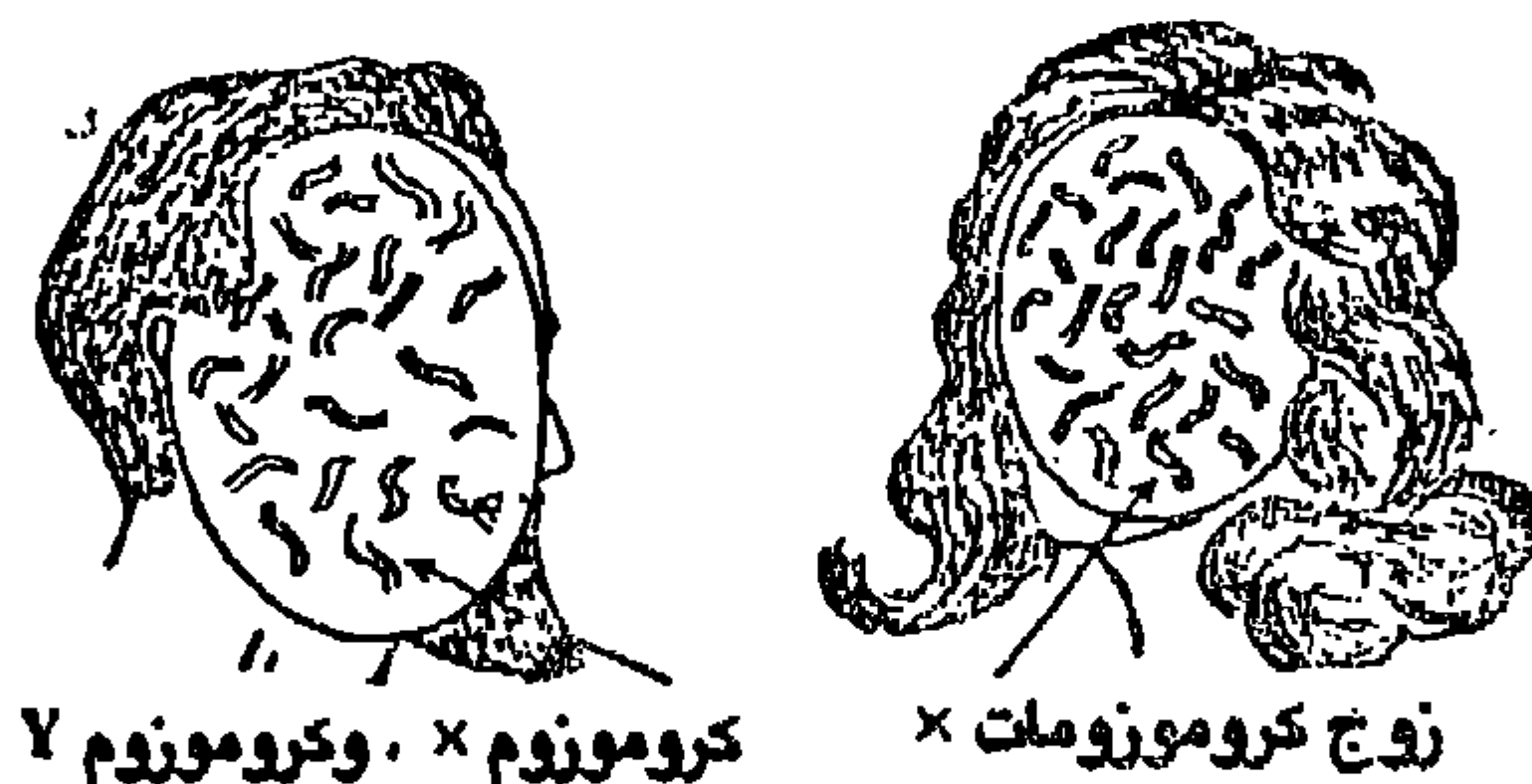
وربما تسأل القارئ الفطن عن كيفية خروج أمشاج ذكرية
أو أنثوية من انقسام الخلية الأصلية إلى نصفين متساويين . ويمكن السر
فى الاستثناء الذى ذكرناه من قبل لنجمله التى مفادها أن عدد
الكروموزومات يكون زوجيا دائما . فهناك زوج معين من الكروموزومات
يكون مكونا من متطابقين فى جسم الأنثى ومختلفين فى جسم الذكر .

(٧) من المثير أن تقارن هذه الحسبة ونتيجتها بحسبة أخرى مشابهة خاصة بالانفجار
الذرى (انظر الفصل السابع) . أن عدد الانقسامات الذرية الضرورى لحدوث الانشطار
(« التخصيب ») فى كل ذرة يورانيوم فى كيلوجرام واحد من المادة (اجمالى ٢٥ × ٢٤١٠
ذرة) يمكن الوصول إليه باستخدام معادلة مشابهة : ٢ س = ٢٥ × ٢٤٢٠
أى س = ٦١ .

وتعرف هذه الكروموزومات بكروموزومات الجنس ويشار إليها بالرمزين X, Y ، والخلية الموجودة في جسم الانثى تحتوى دائما على زوج من كروموزومات X بينما تحتوى الخلية في جسم الذكر على X, Y (٨) . ويعتبر هذا الاختلاف الفارق الأساسى بين الجنسين (شكل ٩٤) وحيث ان جميع الخلايا التناسلية المحتجزة في النظام الأنثوى تحتوى على طاقم كامل من كروموزومات X ، فان عملية الانقسام المنصف تؤدي الى ظهور خليتين تحتوى كل منهما على كروموزوم X . ولكن خلايا الرجل التناسلية تحتوى كل منها على كروموزوم X وآخر Y فعندما ينقسم احدها تكون النتيجة مشيجين أحدهما يحتوى على X والآخر على Y .

وعند حدوث التلقيح يتحد مشيج ذكري (حيوان منوى) مع مشيج أنثوى (البويضة) وتكون الفرصة ٥٠ : ٥٠ فى أن يثمر الاتحاد عن زوجين من X أو عن X, Y . وفى الحالة الأولى يكون المولود أنثى . وفى الحالة الثانية يكون ذكرا .

وسوف نتعرض فى الجزء القادم لهذه المشكلة الهامة وسنبدا الآن بوصف عملية التكاثر .



(شكل رقم ٩٤)

الاختلاف فى الوجه بين الرجل والمرأة . ففى حين أن كل خلايا جسم المرأة تحتوى على ٤٨ كروموسوم مزدوج بحيث يكون نصفها الكروموزوم صورة طبق الأصل من بعضهما البعض ، نجد أن خلايا جسم الرجل تحتوى على زوج غير متماثل . فبدلا من كروموزومين X كما فى المرأة يكون لدى الرجل X, Y .

عندما تتحد الحيوانات المنوية للذكر مع بويضات الأنثى وهى عملية تعرف بـ « الاقتران » يكون الناتج خلية كاملة تبدأ فى الانقسام الى خليتين

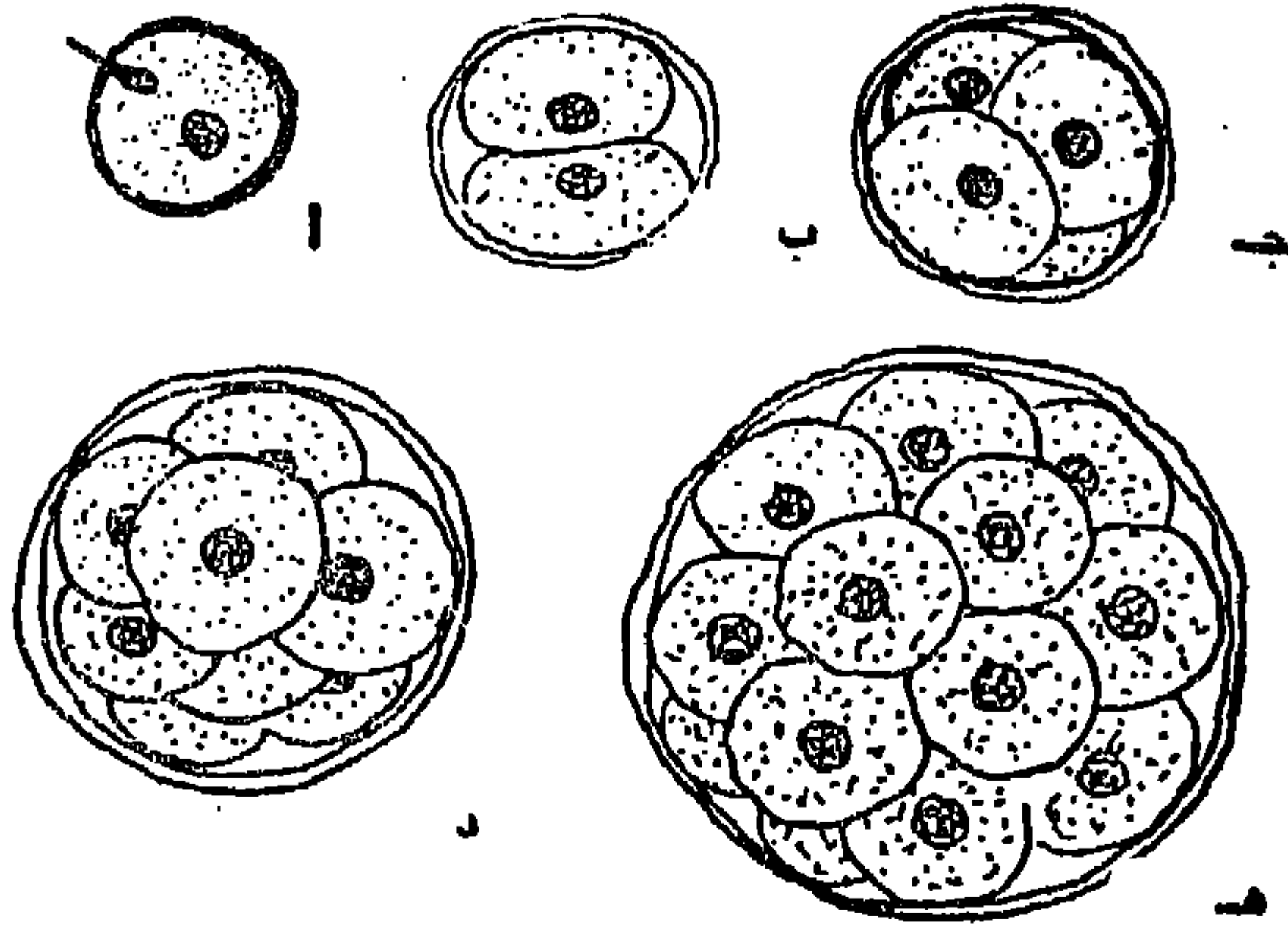
(٨) يصح هذا على البشر وجميع الثدييات الا أن الوضع يكون معكوسا فى الطيور حيث يكون للذكر كروموزومان متطابقان وللأنثى زوج من الكروموزومات المختلفة .

فى عملية « الانقسام الفتيلى » الموضحة فى شكل (٩٢) • ثم تنقسم الخليتان الناتجتان بهذا الشكل الى اربع خلايا بعد فترة استرخاء صغيرة ثم تتكرر العملية فى الاربع خلايا وهلم جرة • وتحصل كل خلية وليدة على نصف الكروموزومات تماما من البويضة المخصبة التى حصلت على نصف كروموزوماتها من الأب والنصف الآخر من الأم ، وفى شكل ٩٥ نرى التطور التدريجى لبيضة مخصبة حتى تصل الى مولود كامل التكوين وفى (أ) نرى الحيوان المنوى يخترق جسم البويضة المسترخية • ثم يحفز اتحاد المشيجين على بدء نشاط جديد فى الخلية الكاملة التى تنقسم أولا الى ٢ ثم الى ٤ ثم الى ٨ ثم الى ١٦ • الخ • الخ (شكل ٩٥ ب ، ج ، د ، هـ) • وعندما يصبح عدد الخلايا كبيرا نسبيا تميل الى ان ترتب نفسها بشكل يجعلها جميعا على السطح حيث تكون فى وضع أفضل للحصول على الغذاء من الوسط الغذى المحيط بها وهذه المرحلة من النمو التى يبدو فيها النظام الحى اشبه بفقاعة صغيرة ذات تجويف داخلى تعرف بـ « * البلاستولة » (و) • ثم يبدأ جدار التجويف فى الالتواء للداخل (ز) ويدخل النظام المرحلة المعدية (من المعدة) (ح) حيث يبدو خلالها شبيها بكيس صغير به فتحة تعمل على الحصول على الغذاء واخراج الجزء الفاقد من المواد المهضومة • ولا تتخطى الحيوانات البسيطة مثل المرجانيات هذه المرحلة من النمو اطلاقا ، أما فى الأنواع الأخرى من الكائنات المتطورة فتستمر عمليات النمو • وتتطور بعض الخلايا الى هيكل عظمى ، والبعض الآخر الى أجهزة هضمية وتنفسية وعصبية ، وبالمرور بالمراحل الجنينية المختلفة (ح) يصبح النظام فى النهاية حيوانا صغيرا يمكن التعرف عايه كعضو فى فصيلته (ك) وكما ذكرنا من قبل تتنحى بعض الخلايا النامية فى النظام المتطور حتى فى أوائل مراحل نموه بحيث تصلح لأن تكون احتياطيا ، اذا صح التعبير ، لقيام بوظيفة التكاثر مستقبلا • وعندما يصل النظام الى مرحلة البلوغ تمر هذه الخلايا لعملية انقسام اختزالى (منصف) فتنشج الأمشاج التى تبدأ العملية كلها من جديد ، وهكذا تمضى الحياة •

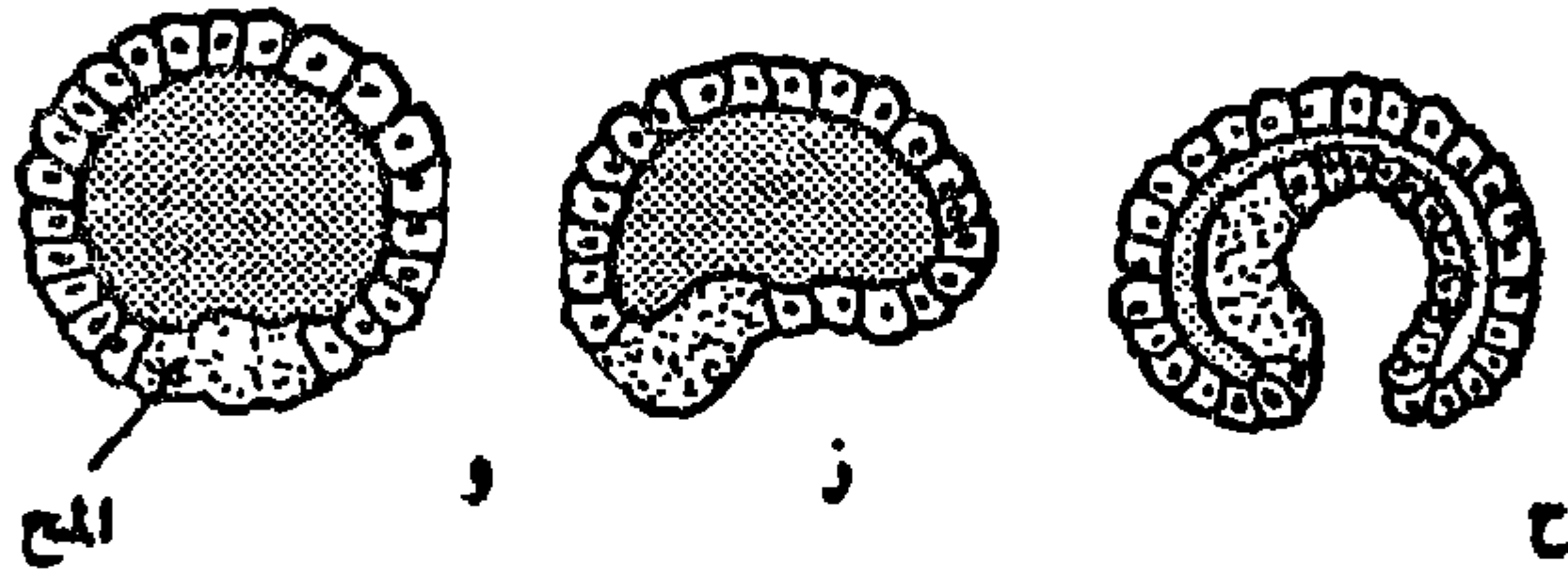
٢ - الوراثة والجينات :

تكمّن اهم ملامح عملية التكاثر فى أن النظام الحى الناتج عن اتحاد زوج من الأمشاج الآتية من أبوين لا ينمو بحيث يصبح أى نوع من المخلوقات الحية ولكنه يشب صورة أمينة وان لم تكن بالضرورة طبق الاصل من الأبوين والأجداد •

Blastula



مراحل التغير



(شكل رقم ٩٥)

من بويضة حتى مولود كامل .

والواقع أن الجرو المولود لأبوين من الكلاب الأيرلندية لا ينمو كلبا بدلا من أن يكون أرنباً أو فيلا فحسب ولكنه يشبه أبويه أيضا في أنه لا يصل إلى مراحل نمو الأفيال أو يتوقف نموه عند حجم الأرانب كما أنه سيمتلك أربعة أرجل وذيل طويل وأذنين وعينين على جانبي رأسه . وبمقدورنا أيضا أن نثق تماما في أن أذنيه سينموان على درجة من اللين والتدلي وأن فراءه سيكون طويلا وبني اللون أقرب إلى الذهبي ، كما يحتمل كثيرا أن يشب مولعا بالصيد ، بالإضافة إلى أنه سيوجد عدد مختلف من

النقاط يمدن اختفاء أثرها من ملاحظة الأب أو الأم أو ربما أحد الأجداد وسيحمل أيضا صفات خاصة .

والسؤال الآن كيف وصلت هذه الصفات المختلفة التي كان يحملها الكلبان الايرلنديان الى أجنتهما محمولة على قطع مادية ميكروسكوبية في المشيجين اللذين كونا الخلية الأولى بعد اتحادهما ؟ .

وكما رأينا من قبل يحصل كل نظام حي جديد على نصف عدد الكروموزومات تماما من الأب والنصف الآخر من الأم . وواضح أن الصفات الأساسية لأي نوع من الكائنات الحية لابد أن تكون آتية أصلا من كل من كروموزومات الأب والأم في حين أن الصفات الثانوية التي يمكن أن تختلف من شخص لآخر ربما تكون ناتجة عن أحد الأبوين فقط وعلى الرغم من أن هناك شكاً بسيطاً في أنه مع مرور الزمن وبعد أجيال عديدة جداً تصبح أغلب الصفات الأساسية للحيوانات والنباتات المختلفة عرضة للتغير (والدليل على ذلك التطور العضوي) إلا أن فترات الملاحظة المحدودة لا يمكن أن تسفر إلا عن قدر ضئيل نسبياً من التغير في الصفات الثانوية التي يمكن للإنسان أن يراقبها في حدود علمه .

إن دراسة هذه الصفات وانتقالها من الآباء الى الأبناء هي الموضوع الرئيسي لعلم الجينات هذا العلم الجديد الذي لا يزال عملياً في مهده وهو بالرغم من ذلك كفيلاً بأن يمدنا بغرائب المعلومات عن أدق أسرار الحياة . فقد تعلمنا على سبيل المثال أن قوانين الوراثة تتميز ببساطة حسابية مطلقة على النقيض من أغلب الظواهر البيولوجية مما يشير الى أننا نتعامل مع إحدى الظواهر الأساسية في الحياة .

ومن الأمثلة على ذلك هذا القصور المعروف في نظر الإنسان والذي يطلق عليه عمى الألوان ، وأكثر أنواعه شيوعاً يتميز بالعجز عن التمييز بين اللون الأحمر واللون الأخضر . وحتى يمكننا تفسير عمى الألوان ينبغي في البداية أن نفهم كيفية رؤيتها من خلال دراسة البناء المركب للشبكية وخواصها ، ومشكلة التفاعلات الضوئية الكيميائية الناتجة عن الأطوال الموجية المختلفة للضوء وهكذا الخ . الخ .

ولكن إذا سألنا أنفسنا عن وراثة عمى الألوان ، وهو سؤال قد يبدو لأول وهلة أكثر تعقيداً من تفسير الظاهرة نفسها ، نجد أن الإجابة عليه بسيطة وميسرة بخلاف ما نتوقعه . ومن المعروف والذي تؤكد حقائق المشاهدة ما يلي :

١ - أن الرجال أكثر عرضة للإصابة بعمى الألوان من النساء .

٢ - أن الآباء المصابين بعمى الألوان ينجبون أطفالا طبيعيين تماما اذا تزوجوا من سيدات « صحيحات » غير مصابات بالمرض .

٣ - أن الآباء « الأصحاء » من هذا العيب اذا تزوجوا نساء من المصابات به يكون أولادهم من الذكور مصابين به بينما لا يؤثر ذلك على البنات .

وبمعرفة هذه الحقائق التى تشير بوضوح الى أن وراثة عمى الألوان تكون مرتبطة الى حد ما بالجنس ، ليس أمامنا الا أن نفترض أن عمى الألوان ينشأ عن قصور فى أحد الكروموزومات وينتقل مع هذا الكروموزوم من جيل الى آخر ، وبالجمع بين هذين الاستنتاجين نصل الى افتراض أهم وهو : **ان عمى الألوان ينشأ عن قصور فى الكروموزوم الجنسي الذى سبق أن رمزنا اليه بالرمز X .**

وبهذا الافتراض تصبح القواعد التجريبية الخاصة بعمى الألوان فى وضوح البلور . وتذكر أن خلايا الاناث تحتوى على كروموزومى X فى حين أن الخلايا الذكرية تحتوى على كروموزوم واحد X (والكروموزوم الآخر Y) فادا كان كروموزوم X الوحيد فى الرجل به هذا العيب أصبح الرجل مصابا به . أما فى المرأة فلا بد أن يحمل الكروموزومان X هذه الصفة حيث أن كروموزوما واحدا فقط لا يكفى للاصابة بهذا القصور . ولو كانت فرصة وجود عمى الألوان فى الكروموزوم واحد الى ألف مثلا فسوف نجد مصابا واحدا بالمرض من بين كل ألف رجل .

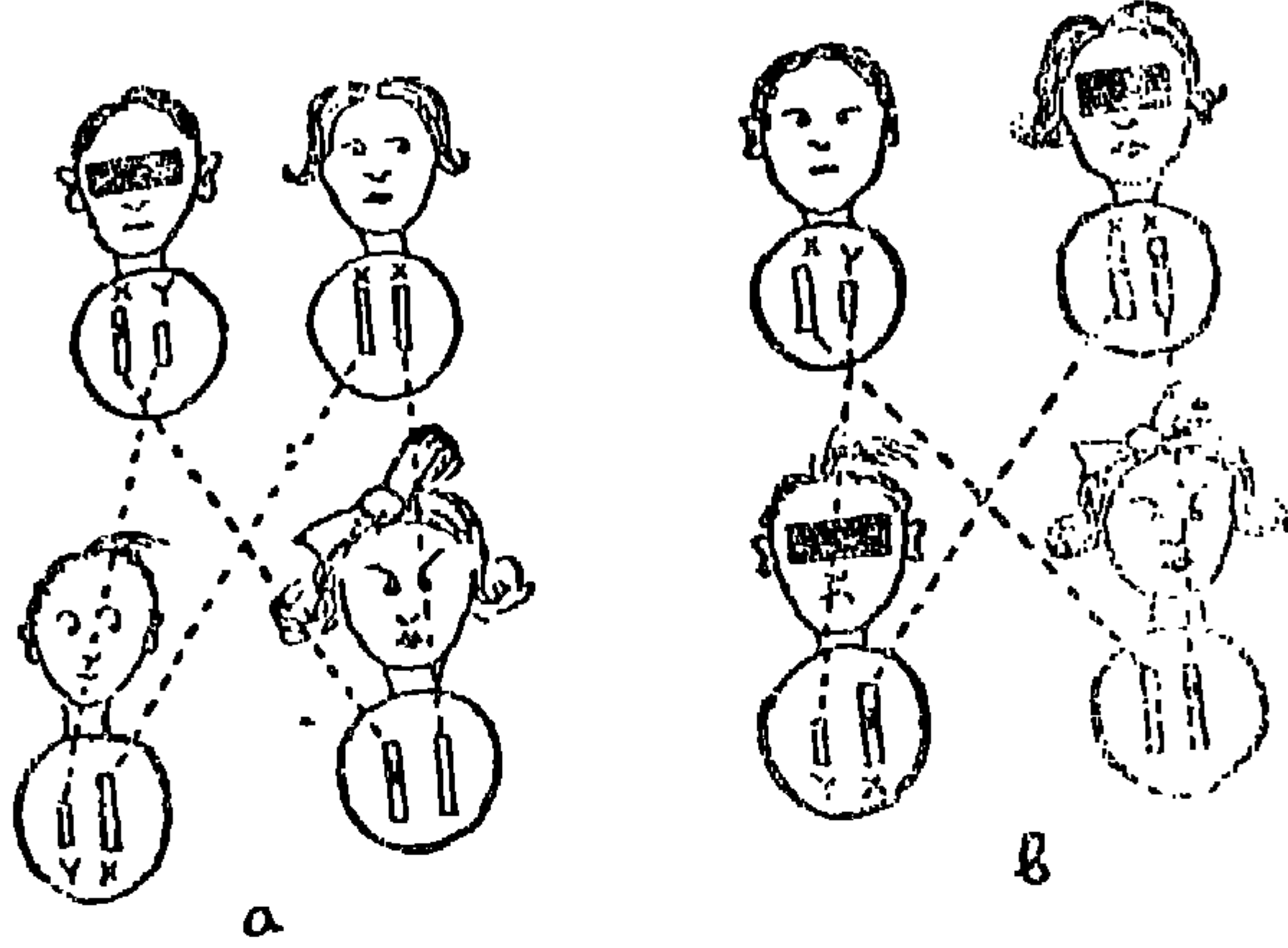
ويمكن بداهة حساب احتمال اصابة الكروموزومين بالمرض فى امرأة وفقا لنظرية ضرب الاحتمالات (انظر الفصل الثامن) فيكون الناتج : $\frac{1}{10000} = \frac{1}{1000} \times \frac{1}{1000}$ ، وهكذا نتوقع اصابة امرأة واحدة من كل مليون امرأة بهذا المرض .

والآن لنأمل حالة زوج مصاب بعمى الألوان ومقترن بزوجة طبيعية (شكل ٩٦ أ) . وفى هذه الحالة لن يحصل الأبناء على كروموزوم X من الأب وسيحصلون على كروموزوم X واحد « سليم » من الأم ومن ثم لا يوجد ما يسبب اصابتهم بعمى الألوان .

أما الفتيات فسوف تحصلن على كروموزوم X « سليم » من الأم وآخر « مصاب » من الأب . وهكذا لن تصبن بعمى الألوان مع احتمال اصابة (أبنائهن) به .

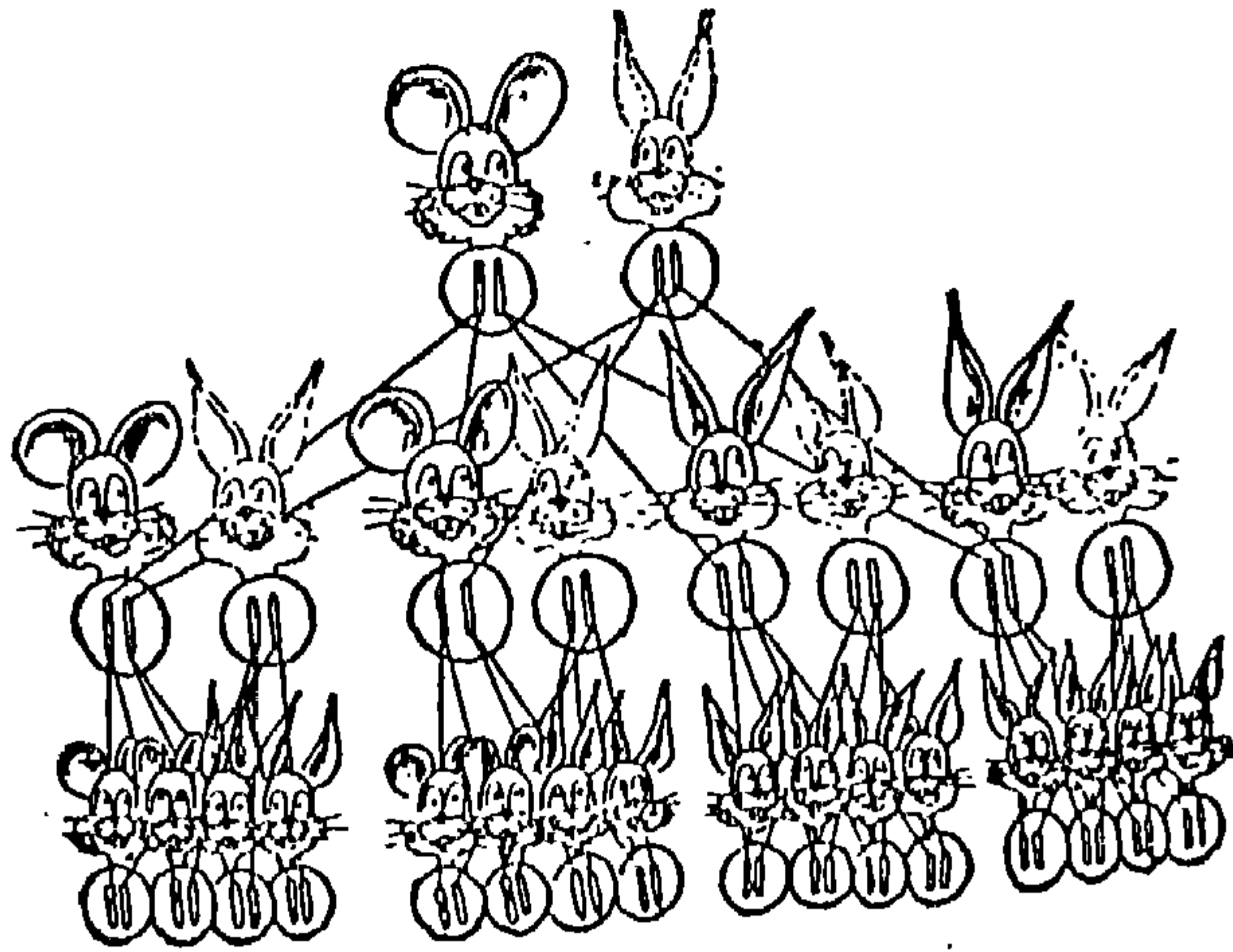
وفى الحالة العكسية حيث تتزوج امرأة مصابة بالمرض من زوج « طبيعى » (شكل ٩٦ ب) نجد أن الأبناء يصابون حتما بالمرض اذ أن

كروموزوم \times الوحيد الذي يحملونه يأتي من الأم . وبالنسبة للمقتنيات فسوف ينتقل اليهن كروموزوم « سليم » من الأب وآخر « مصاب » من الأم وبالتالي لن يصبين بالمرض رغم أن هناك احتمالا لاصابة أبنائهن به كما في الحالة السابقة . وهكذا ترى أن القاعدة تتسم باكبر قدر ممكن من البساطة ! .



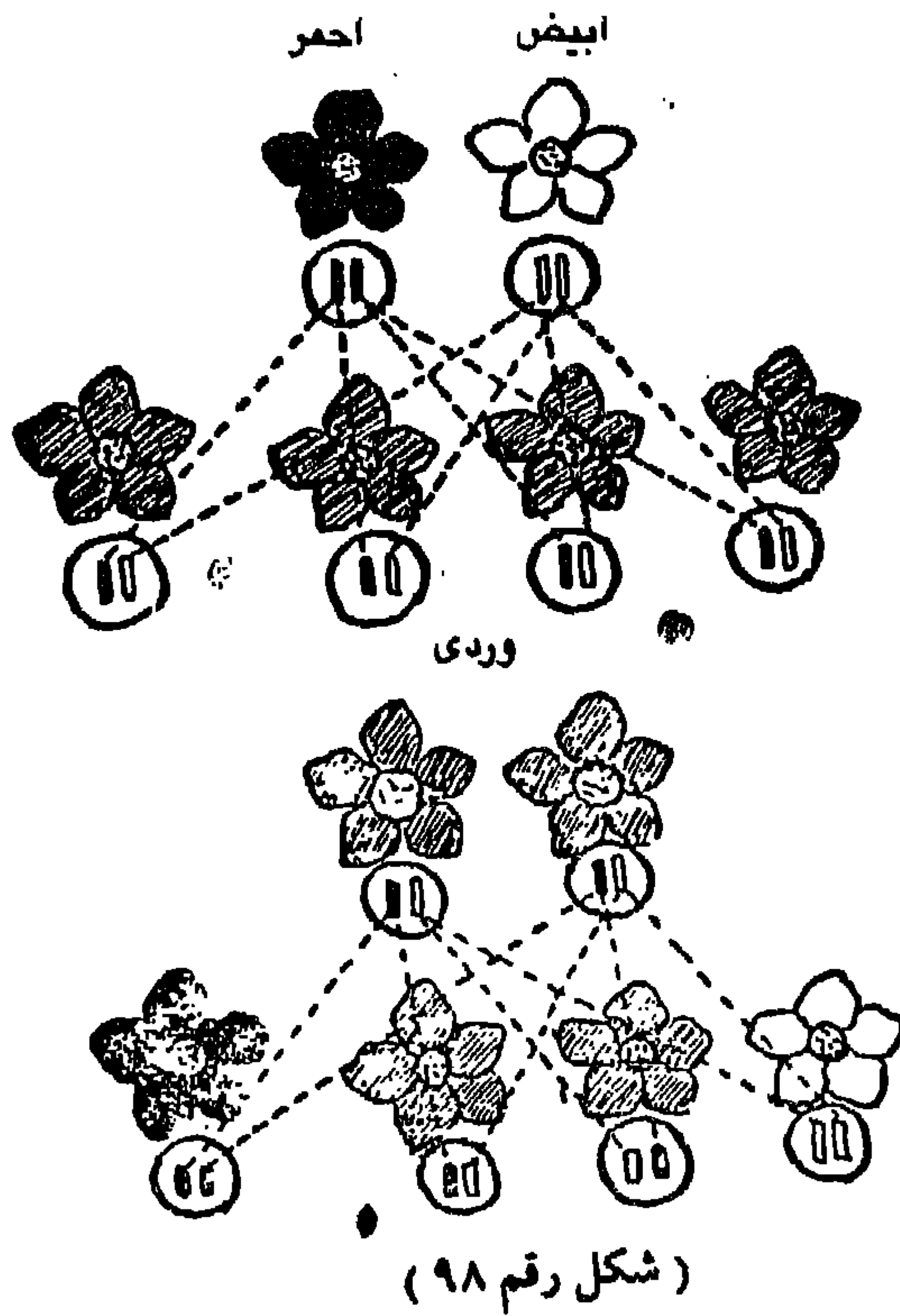
(شكل رقم ٩٦)

ان الصفات الوراثية الشبيهة بمعنى الالوان التي يستلزم ظهورها أن تتوفر في كروموزومين تعرف « بالصفات الكامنة » وهي تنتقل أحيانا من الأجداد الى الأحفاد في صورة خفية وتعتبر مسئولة عن الأحداث المحزنة مثل انجاب زوج من كلاب الرعى الألمانية لجرو مشوه دميم .



(شكل رقم ٩٧)

وينطبق العكس على ما يعرف « بالصفات السائدة » التي تظهر على الفرد ولو كانت محمولة على كروموزوم واحد فحسب . وحتى نستطيع ايضاح هذه الحقيقة الخاصة بالجينات انظر شكل ٩٧ الذي يظهر فيه هذا الأرنب الوهمي الذي تشبه أذناه ميكى ماوس . فاذا افترضنا أن « أذننى ميكى ماوس » من الصفات السائدة وراثيا أى أن تغيرا فى كروموزوم واحد يكفى لجعل الأذنين تنموان بهذا الشكل المخجل (بالنسبة الأرنب الوهمي الذي تشبه أذناه ميكى ماوس . فاذا افترضنا أن بعد القاء نظرة على الشكل مع افتراض أن الأرنب المولود لهذه الذرية سوف يتزاوج مع أرنب طبيعي . وترى أننا قد رمزنا فى الشكل بنقطة سوداء فى الكروموزوم المسئول عن الإصابة بأذان ميكى .



(شكل رقم ٩٨)

وهناك بالإضافة الى الصفات السائدة و الكامنة ما يعرف بالصفات الكمية *) . افترض أن فى حديقةك أربع زهراء حمراء وبيضاء . وعندما تحمل الريح حبوب اللقاح (الخلايا الذكرية فى الزهور) من زهرة حمراء أو تنتقل عن طريق حشرة طائفة الى زهرة أخرى حمراء أيضا

(*) أو التراكمية .

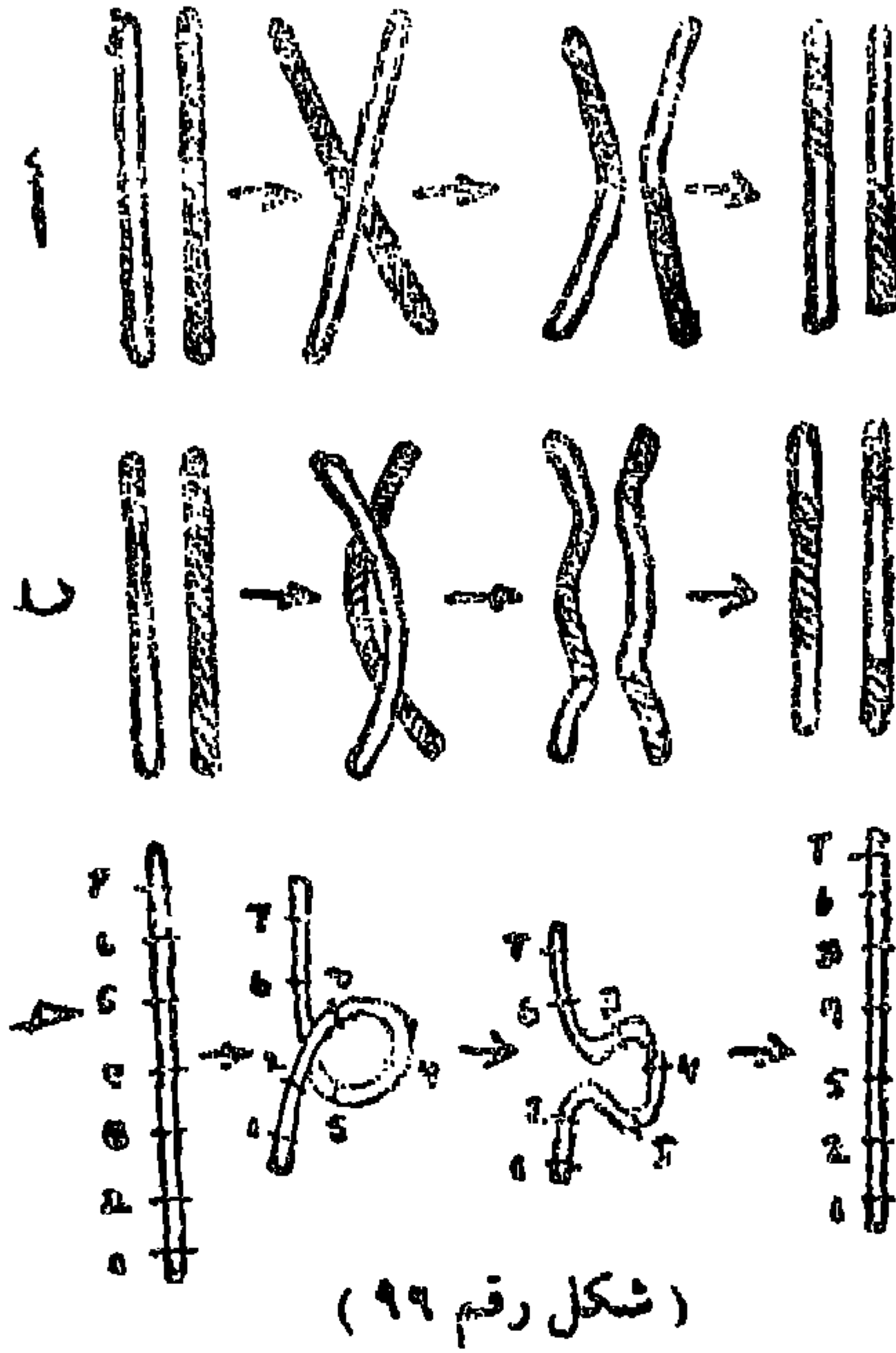
فانها تتحد مع البذيرة (الخلية الانثوية فى النبات) التى يكون مكانها فى قاع البتلة ، وتنمو بذور ينتج عن زراعتها زهور حمراء . وينطبق نفس الشئ على تلقيح الزهور البيضاء بحبوب لقاح من زهور مماثلة لها فى اللون . ولكن اذا حدث وحطت حبوب اللقاح الآتية من زهور بيضاء على زهور حمراء أو العكس فان البذور الناتجة سوف تؤدى الى نمو نباتات ذات زهور وردية . ومن الواضح أن الزهور الوردية لا تمثل فصيلة قائمة بذاتها . فاذا ما تمت زراعتها معا سنجد أن الجيل التالى منها يتوزع بين ٥٠ فى المائة زهور وردية ، و ٢٥ فى المائة زهور حمراء و ٢٥ فى المائة زهور بيضاء .

ويمكن تفسير ذلك بسهولة اذا افترضنا أن صفة الاحمرار أو البياض تحمل على كروموزم واحد فى خلية النبات ، وحتى يكون اللون نقيا لابد من أن يكون كلا الكروموزمين متطابقا من هذه الناحية . فاذا كان أحدهما « أحمر » والآخر « أبيض » انجلى غبار معركة الألوان عن زهور وردية اللون . وبالنظر الى شكل ٩٨ الذى يوضح هذه الظاهرة وهى توزيع « كروموزومات الألوان » فى الذراري يمكننا أن نفهم العلاقة العددية التى أشرنا اليها من قبل . ومن السهل كذلك ايضاح أن التكاثر بين الزهور البيضاء والوردية سوف يؤدى الى حيل تمثل الزهور الوردية فيه بنسبة ٥٠٪ والبيضاء بنسبة ٥٠٪ فى حين لا تظهر زهور حمراء اطلاقا وما عليك الا أن تجرب ذلك بالرسم كما فعلنا فى الحالات السابقة . وكذلك يكون نتيجة التكاثر بين الزهور الوردية والحمراء ، ٥٠٪ من الزهور الحمراء ، و ٥٠٪ وردية مع عدم وجود زهور بيضاء . وهذه هى قوانين الوراثة التى كان أول من اكتشفها منذ قرن من الزمان الراهب المورافى (*) المتواضع « جريجور مندل » عند زراعته لحبوب البازلاء فى حديقة الدير .

لقد قمنا حتى الآن بالاشارة الى ارتباط الصفات الوراثية المختلفة بالكروموزومات التى تنتقل الى الفرد من أبويه ، ولكن حيث أن عدد الصفات المختلفة يكاد لا يحصى بالنسبة الى العدد الصغير نسبيا للكروموزومات (٨ فى كل خلية من خلايا الذبابة ، ٤٨ فى كل خلية بشرية) فلا مناص لنا من أن نقر بأن كل كروموزوم يحمل قائمة من الخصائص الشخصية التى يمكن أن نتخيلها موزعة على جسمه الشبيهة بالألياف . وتعتبر الطبقات القائمة الموجودة على الجسم الطويل لكروموزوم

(*) المورافيون سكان اقليم تشيكى (المبرمج) .

الغدد اللعابية في ذبابة الفاكهة (دروسوفيللا ميلانو جاستر) (٩) ، عن مواقع الصفات المختلفة من هذا الكروموزوم ، وقد تحمل بعض هذه الشرائط العرضية صفة لون الحشرة ، بينما يحمل بعضها الآخر صفة شكل الأجنحة في حين تكون شرائط أخرى مسئولة عن احتواء جسم الذبابة على ستة أرجل يبلغ طول كل منها حوالى $\frac{1}{2}$ بوصة ، وعن اكسابها شكل ذبابة الفاكهة بصفة عامة بحيث تختلف عن الدجاجة أو أم أربع وأربعين .



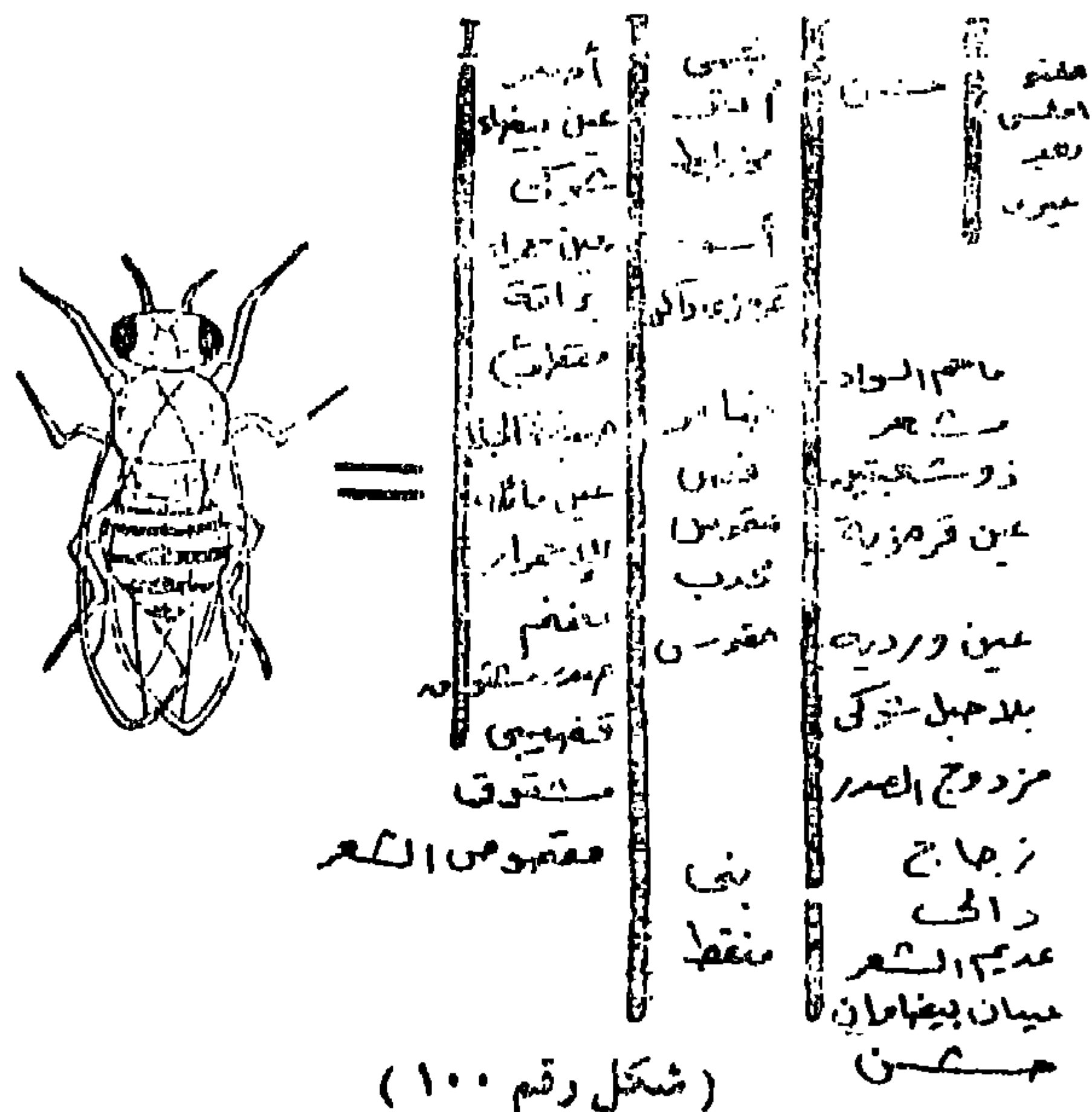
والواقع أن علم الجينات يؤكد لنا أن هذا الانطباع صحيح تماما ويستطيع المرء أن يحدد فى حالات كثيرة أى الجينات يحمل أى الصفات ناهيك عن امكانية ايضاح أن هذه الوحدات البنائية الصغيرة للكروموزوم التى عرفناها « بالجينات » تحمل فى ثناياها الصفات الوراثية فى كل نوع .

وتبدو جميع الجينات متشابهة مع بعضها تقريبا مهما كانت درجة التكبير المستعملة فى حين تختفى اختلافاتهم الوظيفية فى مكان ما بالداخل فى ثنايا الهيكل الجزيئى .

(٩) تكون الكروموزومات ، فى هذه الحالة بالذات دوناً عن غيرها ، ضخمة الى حد كبير بحيث يمكن دراستها باستخدام طرق التصوير الميكروسكوبى .

لذا فان الحكمة من وجود الجينات ووظيفتها في الحياة لا يمكن التوصل اليها الا من خلال أسلوب انتقال الصفات الوراثية من جيل الى آخر في نوع ما من النبات أو الحيوان .

ولقد رأينا أن أى نظام عضوى يحصل على نصف كروموزوماته من الأب والنصف الآخر من الأم . وحيث ان المجموعات الكروموزومية في كل من الأم والأب تمثل خليطا نسبته ٥٠ : ٥٠ من الكروموزومات الآتية من الأجداد كان علينا أن نتوقع أن الطفل يرث صفات من جد واحد من ناحية الأم وأخرى من ناحية الأب . على أن هذا ليس صحيحا بالضرورة وهناك حالات يورث الأربعة جدود فيها صفاتهم الى الأحفاد .



فهل يعنى ذلك أن خطة انتقال الكروموزومات التى أوضحناها سلفا خاطئة ؟ كلا ولكنها بالأحرى مبسطة الى حد ما ، وهناك عنصر لابد من أخذه فى الحسبان وهو ما يحدث فى عملية الاعداد للانقسام المنصف والذى تنقسم الخلايا التناسلية بمقتضاه الى مشيجين حيث يغلب أن تلتوى الكروموزومات المزدوجة على بعضها وتتبادل أجزاءها . وتؤدي هذه العملية التبادلية الموضحة فى شكل (٩٩ ، ب) الى اختلاط الجينات الآتية من الأبوين وهى السبب فى الهجين الوراثي . وهناك أيضا حالات (شكل ٩٩ ج) يلتف فيها الكروموزوم المفرد على نفسه فى هيئة لولبية وربما ينقسم بعد ذلك بشكل مختلف بحيث يختلف ترتيب الجينات فيه .

ومن الواضح أن إعادة ترتيب الجينات بين زوجين من الكروموزومات أو في كروموزوم مفرد يحتمل أن تؤثر على المواضع النسبية لهذه الجينات إلى حد كبير . وهذا شبيه تماما بما يحدث عند اقتسام مجموعة من أوراق اللعب ثم إعادة جمعها مما يؤدي إلى تغيير ترتيب الأوراق فيها بحيث ينعكس من أعلى إلى أسفل (وتصبح الورقة التي كانت في أعلى الكوتشينة مجاورة لآخر ورقة فيها) ولكن هذه العملية لن تفصل إلا بين ورقتين متجاورتين فحسب .

وهكذا يمكن من ملاحظة أن هناك صفتين وراثيتين محددين تنتقلان مع بعضهما دائما في عبور الكروموزومات أن نستنتج أن الجينين الحاملين لهما متجاوران تماما . وعلى النقيض من ذلك لا بد وأن الصفات التي تنفصل عن بعضها في الغالب عند حدوث عملية العبور تحملها جينات موجودة في أجزاء متباعدة على الكروموزوم .

وبالاسترشاد بهذه الخطوط تمكن عالم الوراثة الأمريكي « ت . هـ . مورجن » ومدرسته من ارساء صورة محددة لترتيب الجينات على كروموزومات ذبابة الفاكهة التي كانت محلا لدراستهم . وفي شكل ١٠٠ رسم يوضح توزيع مختلف الصفات على كروموزومات الذبابة الأربعة كما حددتها لنا بحوث العالم ومن معه .

ويمكن بالطبع رسم شكل مشابه للشكل السابق بالنسبة لكروموزومات أنواع أخرى من الحيوانات الأكثر تعقيدا وكذا الانسان وان كان ذلك يتطلب قدرا أكبر من الدراسات الواعية والتفصيلية .

٣ - الجينات باعتبارها « جزيئات حية » .

من خلال التحليل السابق للبنية البالغة التعقيد للنظم الحية خطوة خطوة ، نصل الآن إلى ما يبدو وكأنه الوحدات الأساسية للحياة ولقد رأينا في الواقع أن دورة النمو بكاملها وكذلك الصفات الواقعية للنظام الحي الناضج تخضع للنظام الذي تفرضه مجموعة من الجينات الكامنة على أعماق بعيدة في خلاياها وربما استطعنا أن نقول أن كل حيوان أو نبات « ينمو حول » جيناته . وإذا جاز لنا هنا أن نطرح قياسا طبيعيا بالغ التبسيط ، نستطيع أن نشبه العلاقة بين الجينات والنظام الحي بالعلاقة بين نواة الذرة وهذا الحضم الهائل من المواد غير العضوية . فهنا أيضا يمكن الرجوع في جميع الخواص الطبيعية والكيميائية لأي مادة إلى الخواص الأولية لنواتها التي تتحدد بعدد الشحنات الكهربائية فيها . وهكذا فإن النواة التي تحمل شحنة مقدارها ٦ وحدات كهربية أولية مثلا سوف تحيط نفسها بأغلفة

ألكترونية بها ٦ إلكترونات مما يحدو بهذه الذرات الى أن تترتب في نسق مسدس (سداسي) بحيث تعطى شكل بلورات شديدة الصلادة ذات معامل انكسار عال جدا ، وهى ما نطلق عليه الماس . وبالمثل فان الأنوية التى تحمل الشحنتات ٢٩ ، ١٦ ، ٨ ستؤدى الى ايجاد ذرات تتحد ببعضها لتعطى بلورات زرقاء ناعمة للمعصر المعروف بكبريتات النحاس . ولا بد انه حتى أبسط الكائنات الحى هو بطبيعة الأمر أكثر تعقيدا من أى بلورات ، ولكننا فى الحالتين أمام نفس الظاهرة وهى تحديد شكل النظام الكلى بأدق تفاصيله بناء على مراكز جزئية ذات نشاط تنظيمى .

فما مبلغ ضخامة هذه المراكز التنظيمية التى تتحكم فى كافة سمات النظم الحية بدءا من عطر الزهرة حتى حجم خرطوم الفيل ؟ .

ويمكن الاجابة على هذا السؤال بسهولة بتقسيم حجم كروموزوم عادى . بالنسبة الى عدد الجينات التى يحتوى عليها . ووفقا للملاحظات المجهرية يبلغ سمك الكروموزوم المتوسط حوالى $\frac{1}{1000}$ من المليمتر أى ان حجمه يبلغ حوالى ١٠ - ١٤ سم^٣ . على أن تجارب التكاثر تشير الى أن الكروموزوم الواحد لابد وأن يكون مسئولاً عن نقل عدة آلاف من الصفات الوراثية ، ويمكن حصر هذه الصفات مباشرة عن طريق عد الحلقات القاتمة (وهى تعبر عن أماكن الجينات) والتى تتقاطع عرضيا مع أجسام الكروموزومات البالغة النمو فى ذبابة الفاكهة دروسوفيل ميلانوجاستر (١٠) . وبتقسيم الحجم الكلى للكروموزوم على عدد الجينات المنفصلة تجد أن حجم كل جين لا يزيد عن ١٠ - ١٧ سم^٣ . وحيث أن الحجم المتوسط للذرة يساوى ١٠ - ٢٣ سم^٣ تقريبا $\approx (2 \times 10^{-8})^3$ نستنتج من ذلك أن كل جين منفصل لابد وأنه يتكون من حوالى مليون ذرة .

وبمقدورنا أيضا أن نحسب الوزن الكلى للجينات فى جسم رجل مثلا . فكما رأينا من قبل يتألف جسم الشخص البالغ ١٤١٠ خلية يحتوى كل منها على ٤٨ كروموزوم . وبذا يكون الحجم الكلى للكروموزومات فى جسم الانسان حوالى $1410 \times 48 \times 10^{-14} \approx 50$ سم^٣ . وحيث أن كثافة المادة الحية تقترب من كثافة الماء (فلا بد أن وزن الجينات سيكون أقل من ٢ أونس (*)) وهذه هى الكمية الصغيرة من « المادة المنظمة » التى يمكن اهمالها ، ولكنها تبني من حولها هذا « الغلاف » المعقد لجسم الحيوان أو النبات وهو يزيد عن وزنها بآلاف المرات . وهذا الوزن الضئيل عن

(١٠) يبلغ حجم الكروموزومات العادية درجة من الصغر حتى أن فحصها بالميكروسكوب يفشل فى تحديد مواضع الجينات المنفصلة عن بعضها .

(*) الأونس وحدة وزن تساوى ٢٨٣٥ جراما (المترجم) .

الجينات يتحكم أيضا في كل خطوة من خطوات النمو « من الداخل » ويرسم ملامح هيكل الجسم ، بل ويتحكم الى حد كبير في السلوك .

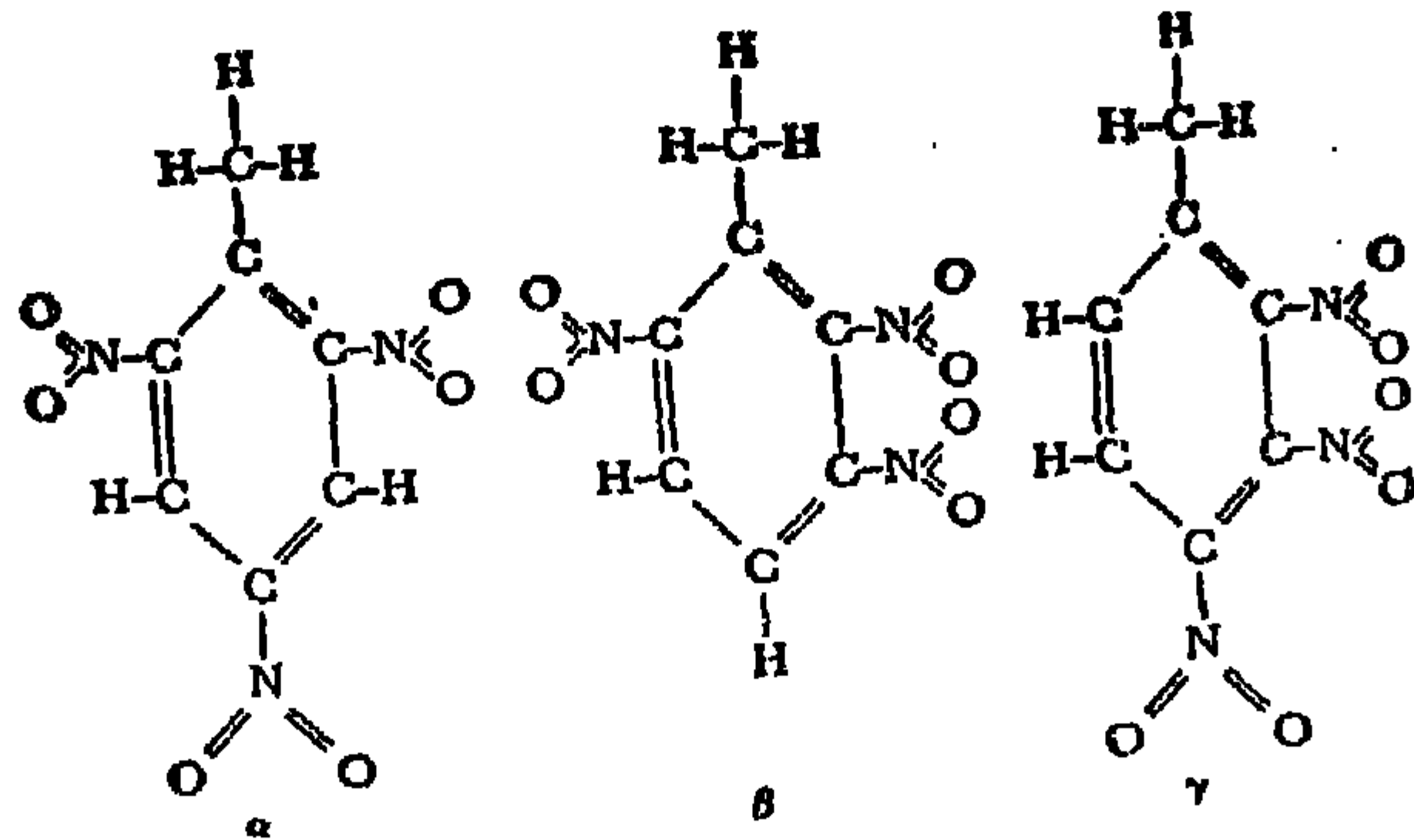
ولكن ما هي ماهية الجين نفسه ؟ هل ينبغي النظر اليه باعتباره « حيوانا » معقدا يمكن تقسيمه الى وحدات بيولوجية أصغر حجما ؟ والجواب هو النفي قطعيا ، فالجين هو أصغر وحدة في الكائن الحي وأكثر من ذلك في حين أنه من المؤكد أن الجينات تمتلك كافة الخصائص التي تميز المادة التي بها روح عن المادة الميتة فليس هناك أدنى شك في أنها تتصل من ناحية أخرى بالجزيئات المعقدة (مثل جزيئات البروتين) التي تخضع لكافة قوانين الكيمياء العادية المعروفة .

وبعبارة أخرى يبدو أن الجين ينطوي على الحلقة المفقودة بين المادة العضوية وغير العضوية ، أو « الجزء الحي » الذي جال بخاطرنا في بداية هذا الفصل .

والواقع أننا لو تأملنا مغزى وجود الجينات التي تحمل كافة الصفات النوعية لأي كائن بغير انحراف تقريبا ولآلاف الأجيال وتأملنا من ناحية أخرى الضالة النسبية لعدد الذرات المفردة التي يتكون منها الجين ، لما وجدنا مبررا لعدم اعتباره هيكلًا محكمًا تستقر كل ذرة أو مجموعة من الذرات بمقتضاه في مكانها المحدد سلفا .

ونستطيع الآن أن نفهم الفارق بين صفات الجينات المختلفة والتي تنعكس في الاختلاف الخارجي بين المخلوقات الناشئة بناء على أوامر هذه الجينات على أساس من اختلاف توزيع الذرات في بنية الجين .

وكمثال بسيط دعنا نتأمل في جزيء تي . ان . تي (ثالث نتريت التولوين) ، أو المادة المتفجرة التي لعبت دورا بارزا في الحروب في الحربين الماضيتين . ويتكون جزيء تي . ان . تي من ٧ ذرات كربون ، و ٥ ذرات هيدروجين ، و ٣ ذرات نيتروجين ، و ٦ ذلات اكسجين مرتبة وفقا لأحد الأنظمة التالية :



ويكمن الفارق بين الثلاثة أنظمة في الشكل الذي ترتبط به مجموعات $N \ll 8$ بحلقة الكربون ، ويرمز الى المادة الناتجة عادة بـ a (TNT) أو B (TNT) أو $1'$ (TNT) . ويمكن تخليق هذه الأشكال كلها في معمل الكيمياء . وكلها ذات طبيعة متفجرة ولكنها تختلف قليلا في كثافتها ، وقابليتها للذوبان ، ونقطة انصهارها ، وقوتها التفجيرية . . الخ .

وباستخدام الطرق القياسية في الكيمياء يستطيع المرء أن ينقل مجموعة $N \ll 8$ من مكان الى آخر في الجزيء بسهولة . ومن ثم يمكن تحويل أحد أنواع مادة الـ N الى نوع آخر . وهناك في الكيمياء كثير من الأمثلة الشائعة جدا من هذا النوع . وكلما زاد حجم الجزيء المقصود بالعملية تعددت الأنواع التي يمكن الحصول عليها (الصور الأيسومرية) (*) بهذه الطريقة .

وإذا نظرنا الى الجين باعتباره جزيئا عملاقا يتكون من مليون ذرة يصبح عدد احتمالات اختلاف ترتيب المجموعات الذرية في أماكن مختلفة من الجزيء كبيرا جدا .

ويمكن النظر الى الجين بوصفه سلسلة من المجموعة الذرية المتكررة دوريا مع مجموعات أخرى مرتبطة بها تماما كالحللي المتصلة ببعضها في سوار جميل ، والواقع أن التقدم الأخير في الكيمياء العضوية يسمح لنا بأن نرسم صورة دقيقة لهذا السوار الوراثي الجميل . وهو يتكون من ذرات الكربون ، والنيتروجين ، والفوسفور ، والاكسجين ، والهيدروجين . ويعرف بالحامض النووي الريبوزي .

وفي شكل (١٠١) ترى صورة سيريلية الى حد ما (مع حذف ذرات النيتروجين والاكسجين) من الجزء من السوار الوراثي الذي يحدد لون عينه. الطفل الوليد . ونرى من الوحدات الأربع أن عينا الطفل لونها أزرق .

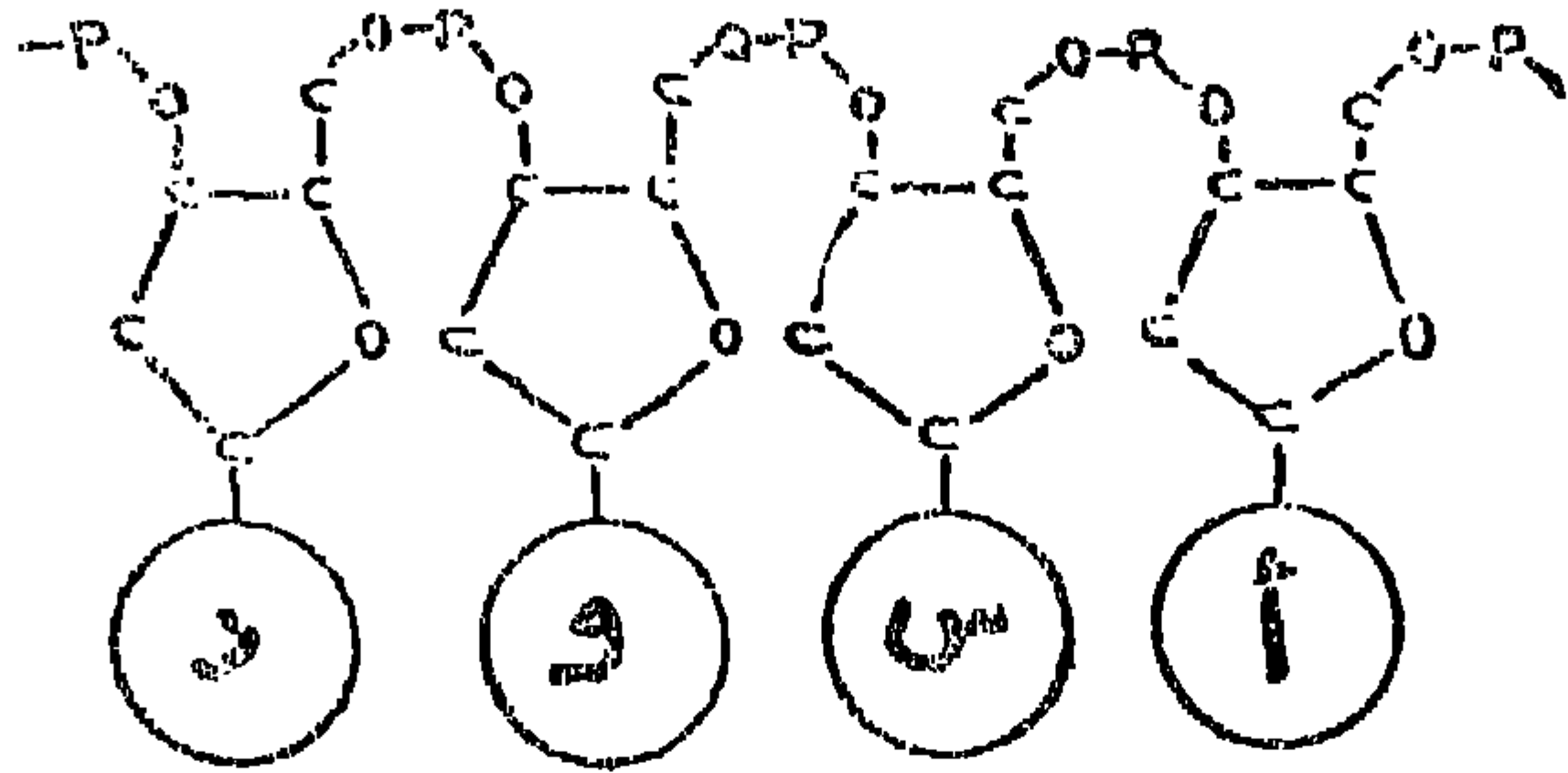
وبتغيير مواضع الحلقات المختلفة من مكان الى آخر نستطيع الحصول على تشكيلة لا نهائية تقريبا من التوزيعات المختلفة .

لذا فإن سوارا يتكون من ١٠ حلقات مختلفة على سبيل المثال يمكن أن نعيده ترتيبه في $1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6 \times 7 \times 8 \times 9 \times 10 = 3628800$ ترتيبا مختلفا .

وإذا كانت بعض الحلقات صنوا لبعضها الآخر انخفض عدد الأشكال المختلفة التي يمكن الحصول عليها لذا فإن عدد أنواع الحلقات ٥ (اثنان من كل نوع) فسوف لا يزيد عدد الاحتمالات عن 112400

(*) أيسومرية (متشاكلية التركيب) .

احتمالا مختلفا . ومع ذلك يزيد عدد الاحتمالات كثيرا مع زيادة أنواع الحلقات فلو كان لدينا مثلاً ٢٥ نوعاً كل خمس منها من نوع واحد . يصبح عدد التوزيعات الممكنة 623×1310 تقريباً ! .



(شكل رقم ١٠١)

جزء من « السوار الوراثي الجميل » ، (جزى . من حمض نووى ريبوزى) يحدد لون عيني الطفل (مع التبسيط) . وهكذا نرى أن عدد التوليفات المختلفة التى يمكن الحصول عليها بإعادة ترتيب « الحلقات » المختلفة بين عدد من « أماكن التعليق » المختلفة يكون هائلاً جداً إلى درجة تكفى لتبرير وجود كل هذه الأنواع من صور الحياة ، وليس هذا فحسب ولكنه يدل على الصور اللانهائية من الحيوانات والنباتات التى يمكن أن نصنعها من خيالنا . ومن النقاط البالغة الأهمية والخاصة بتوزيع الحلقات المحددة للصفات على امتداد الجزئ الجينى الشبيه فى شكله بالألياف أن هذا التوزيع يخضع للتغيرات العفوية التى تؤدي إلى تغيرات ظاهرة موازية لها فى النظام بأكمله .

وعند ارتفاع درجة الحرارة إلى حد معين تصبح الحركة الترددية لهذه الأجسام الجزيئية كافية لتفتيتها إلى قطع منفصلة - وتعرف هذه العملية بالتحلل الحرارى (انظر الفصل الثامن) . ولكن عند درجات أقل من الحرارة حيث تحتفظ الجزيئات ككل بسلامتها وتكاملها ربما أدت الحركة الحرارية إلى تغير داخلي ما فى البناء الجزيئى . ونستطيع على سبيل المثال أن نتخيل أن الجزئ يلتوى بشكل يجعل إحدى الحلقات المتصلة بنقطة معينة تقترب من نقطة أخرى معينة فى جسم وفى هذه الحالة يكون من السهل أحياناً أن تنفصل الحلقة عن موضعها السابق وترتبط بالموضع الجديد .

(١١) يشير مصطلح « الايسومرية » كما ذكرنا من قبل إلى الجزيئات المكونة من نفس الذرات وان كانت مرتبة ترتيباً مختلفاً .

ان هذه الظاهرة المعروفة بالتحويلات الأيسوميرية (١١) ظاهرة مشهورة في الكيمياء العادية على نطاق البنية الجزيئية البسيطة نسبيا وهي تخضع للقوانين الكيميائية الحركية الرئيسية والتي يزيد فيها معدل التفاعل بنسبة قدرها ٢ لكل ارتفاع حرارى قدره ١٠ ° مئوية ، كما تخضع لجميع التفاعلات الكيميائية كذلك .

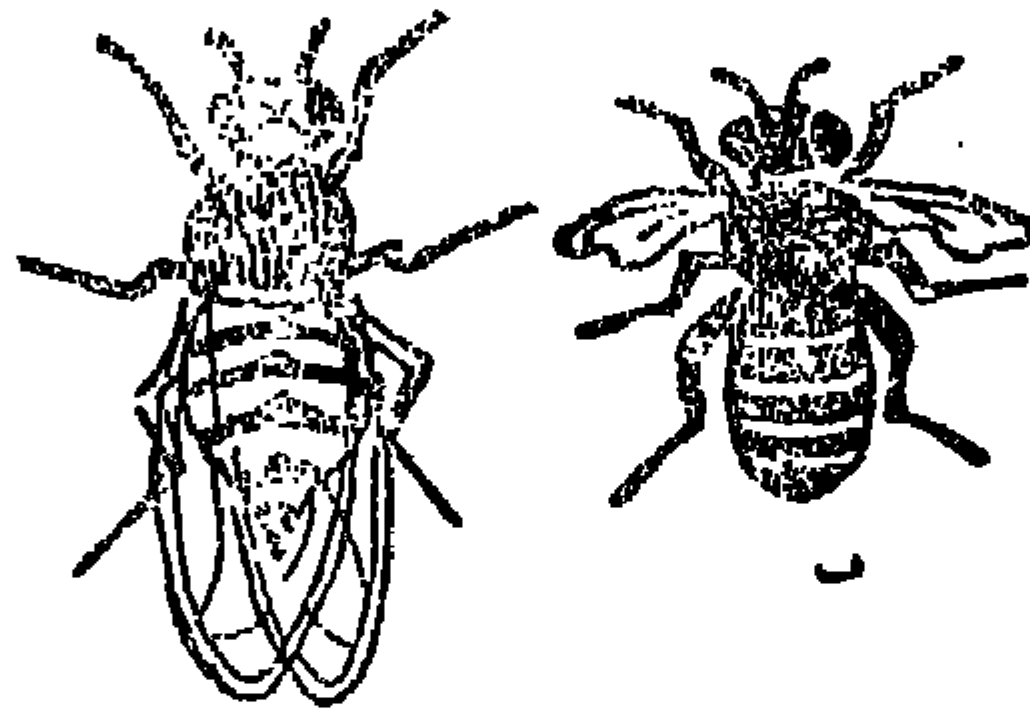
وفي الجزيئات الجينية حيث تتعقد البنية حتى أنها قد تتحدى أفضل الجهود التي يبذلها علماء الكيمياء العضوية والتي سوف يبذلونها في المستقبل لا يوجد حتى الآن ما يؤكد حدوث التغيرات الأيسوميرية بالطرق المباشرة للتحليل الكيميائي . على أن لدينا في هذه الحالة شيئا يمكن اعتباره من احدى وجهات النظر أفضل بكثير من التحليل الكيميائي المعمل . ولو حدث مثل هذا التغير الأيسومري في أحد الجينات الموجودة في مشيج ذكرى أو أنثوى وهما اللذان يؤدي اتحادهما الى خروج مخلوق جديد الى حيز الوجود فسوف يتكرر بأمانة في العمليات اللاحقة من الانقسام الجيني والخلوى ، وسوف يؤثر كذلك على بعض الصفات المظهرية التي يمكن ملاحظتها في الحيوان أو النبات الناشء .

والحق أن احدى أهم نتائج الدراسات الجينية يمكن في حقيقة (اكتشافها عام ١٩٠٢ العالم البيولوجى الألمانى دى فريز) ومؤداها أن :
التغيرات الوراثية التلقائية التي تحدث فى نظام حى تقع دائما على شكل قفزات متقطعة تعرف بالطفرات .

وكمثال على ذلك تأمل تجارب التكاثر فى ذبابة الفاكهة (دروسوفيللا ميلانوجاستر) التي ذكرناها من قبل . ان النوع البرى من هذه الحشرة يتميز بأجسام رمادية وأجنحة طويلة وكلما حاولت الامساك باحداها فى الحديقة تستطيع أن تكون واثقا تماما من توفر هذه الصفات فيها . ومع ذلك فان نكاث ذبابة الفاكهة تحت الظروف المعملية جيلا بعد جيل يجعل من الممكن أن يحصل المرء فى مرة من المرات على « نوع غريب » من هذه الذبابة ذى أجنحة قصيرة الى درجة غير طبيعية وجسم اسود تماما تقريبا (شكل ١٠٢) .

والمهم أنك ربما تعجز عن الحصول على أفراد أخرى من الذباب ذى ألوان رمادية مظلمة أو أجنحة متفاوتة الطول مع هذه الذبابة العجيبة ، أى أنك لن تجد أنواعا من الذبابة متدرجة فى أشكالها على مراحل من الشكل « الطبيعى » حتى الحشرة المتطفرة « ذات الجسم الاسود تقريبا البالغة القصر » . وكقاعدة يكون كل أعضاء الجيل الجديد (وقد يبلغون المئات !) متساوين فى درجة اللون الرمادى وطول الأجنحة تقريبا ، مع وجود ذبابة واحدة فقط (أو القليل منها) مختلفة بالكامل عن الباقين .

فاما أن يكون التغير غير جوهري واما أن يكون تغيرا هائلا تماما (الطفرة) . وقد لوحظت حالات مماثلة في مئات من التجارب الأخرى ، فمثلا عمى الألوان لا ينتقل حتما بالوراثة وثمة حتما حالات يولد فيها طفل مصاب به دون أن يكون للأبوين « ذنب » في ذلك ولا للأجداد أيضا . وفي حالة عمى الألوان في الرجال تماما كما في قصر الأجنحة في الذبابة يكون المبدأ « كل شيء أو لا شيء » والمسألة لا علاقة لها بأفضلية تمييز الألوان عن عدم تمييزها سواء استطاع الفرد ذلك أم لم يستطع . وكما يعرف كل من سمع اسم « تشارلز داروين » ، تؤدي هذه التغيرات في الصفات مصحوبة (بالصراع من أجل البقاء و البقاء للأصلح الى ظاهرة النشوء والارتقاء (١٢) المستمر . وهي المسئولة عن الحقيقة التي مفادها أن المحار البسيط الذي كان يوما ما متربعا على عرش الطبيعة منذ عدة بلايين سنة قد تطور الى مخلوق عالى الذكاء مثلك فاستطاع أن يقرأ ويستوعب حتى هذا الكتاب المتقدم ، الذى بين يديك .



(شكل رقم ١٠٢)

طفرة تلقائية (ذاتية) فى ذبابة الفاكهة

(أ) نوع عاد : جسم رمادى واجنحة طويلة .

(ب) النوع الجديد : جسم اسود واجنحة قصيرة

ويمكن فهم التغيرات الفجائية فى الصفات الموروثة على نحو تام من حيث التغيرات الأيسومرية فى الجزيئات الجينية كما ذكرنا سابقا فالواقع أنه لو غيرت الحلقات المحددة للصفات مكانها فانها لا تفعل ذلك بين بين ، فهي اما أن تبقى فى مكانها القديم ، أو ترتبط تماما بالمكان الجديد وهي بالتالى تحدث تغيرا فجائيا فى صفات النظام .

ومما أيد كثيرا وجهة النظر القائلة بأن « الطفرات » تعود الى تغيرات أيسومرية فى الجزيء الجينى ، أن ازدياد معدل الطفرات يعتمد على درجة حرارة النطاق الذى تتخلق فيه الحيوانات أو النباتات . والواقع أن التجارب

(١٢) والاختلاف، الوحيد الذى استحدثه اكتشاف الطفرات فى النظرية الكلاسيكية الداروينية هو أن التطور يرجع الى تغيرات فجائية متقطعة وليس الى التغيرات البسيطة المستمرة التى كانت فى ذهن داروين .

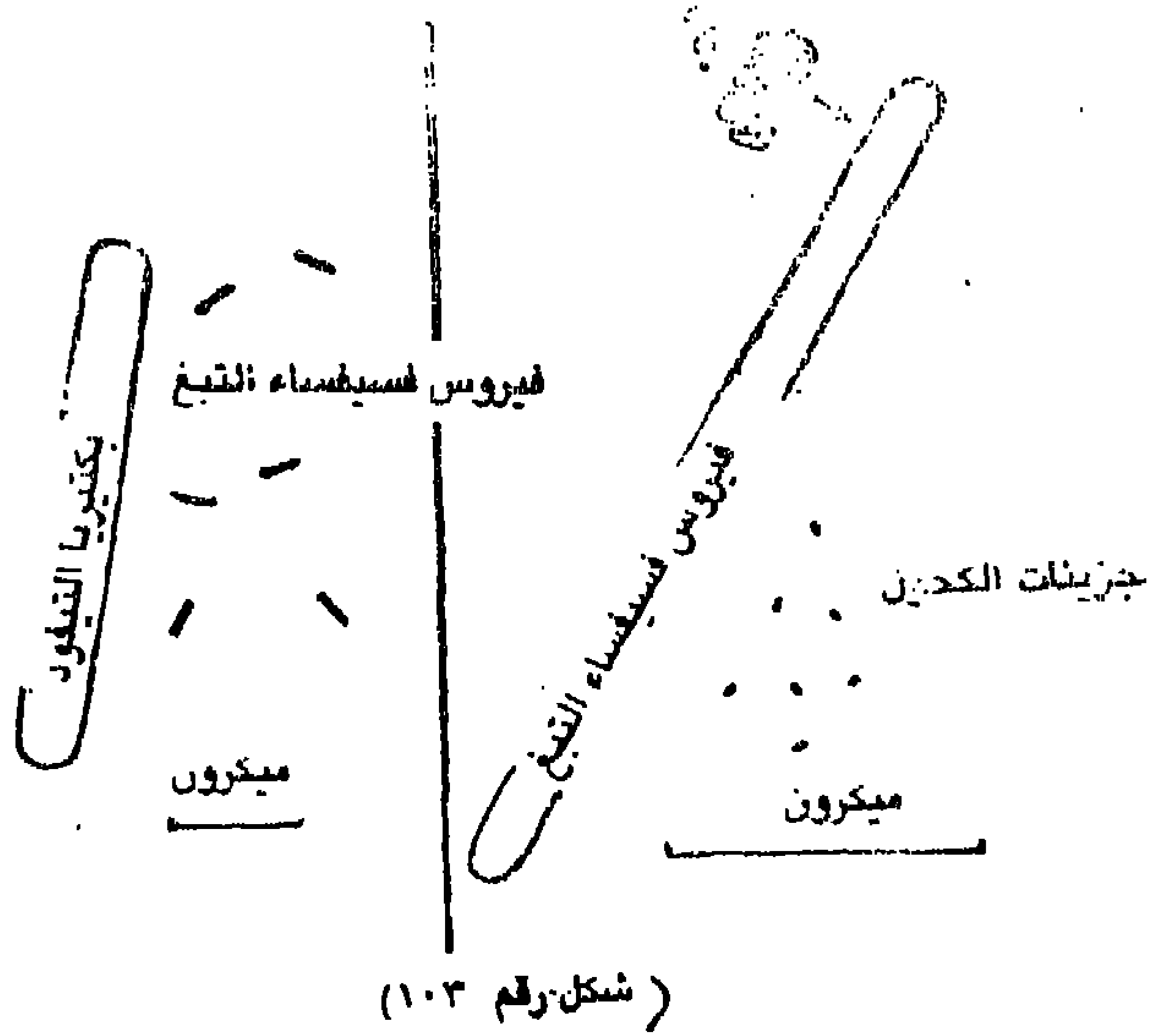
التي قام بها كل من « تيموفيف » و « زيمر » على أثر الحرارة على معدل الطفرات تشير الى أنه باستثناء بعض العوامل الاضافية التي تنشأ عن الوسط المحيط وغير ذلك تخضع الطفرة لنفس القوانين الفيزيوكيميائية الأساسية التي تتحكم في التفاعل الكيميائي العادي . وقد حدا هذا الاكتشاف بالعلماء « ماكس ديلبروك » (فيزيائي نظري في السابق ، وعالم جينات تطبيقي في الحاضر) الى تسنى الآراء التي كانت فاتحة عهد جديد وتعنى التكافؤ بين ظاهرة الطفرة بيولوجيا وعملية التغيرات الأيسومرية في الجزيء ، وهى ظاهرة فيزيوكيميائية بحتة .

ولا يزال هناك الكثير مما يمكن قوله عن الأساس الفيزيائي لنظرية الجين ولا سيما الدليل الهام الذى وفرته لنا دراسة الطفرة الناشئة عن أشعة اكس والاشعاعات الأخرى ، على أن ما قلناه بالفعل يكفى على ما يبدو لاقتناع القارئ بأن العلم يقف الآن على عتبة التفسير الفيزيقي للبحث لظاهرة الحياة التي يكتنفها بعض الغموض .

ولا يصح الانتهاء من هذا الفصل دون الإشارة الى الوحدات البيولوجية المعروفة **بالفيروسات** التي يظهر أنها **جينات حرة** غير محاطة بخلايا . وحتى عهد قريب كان البيولوجيون يعتقدون أن أبسط صور الحياة يتمثل فى أنواع البكتيريا المختلفة ، أو الكائنات الحية المجهرية (وحيدة الخلية) التي تنمو وتتضاعف فى أنسجة الحيوان والنبات والتي تؤدى فى بعض الأحوال الى الإصابة بأمراض مختلفة . وقد أثبتت الدراسات المجهرية على سبيل المثال أن حمى التيفود تنشأ عن نوع خاص من البكتيريا ذى أجسام شديدة الاستطالة وطولها يقرب من ٣ ميكرون (١١) (١٣) ، وعرضها حوالى $\frac{1}{2}$ (١١) ، بينما تكون بكتيريا الحمى القرمزية ذات خلايا كروية يبلغ طول قطرها ٢ ميكرون تقريبا . على أن هناك عددا من الأمراض (مثل الانفلونزا فى الانسان وداء الفسيفساء فى التبغ) فشلت الملاحظات الميكروسكوبية فى ارجاع سبب الإصابة بها الى أى بكتيريا عادية . ورغم ذلك فمن المعروف أن هذه الأمراض « الالبكتيرية » الخاصة تنتقل من جسم المريض الى الصحيح بنفس الأسلوب « العدوى » الشائع فى الأمراض العادية ، وحيث أن « العدوى » المنقولة تنتشر بسرعة فى كامل جسم الفرد المصاب فقد كان من المنحتم أن نفترض أن هناك أنواعا خاصة من الوحدات البيولوجية هى التي تحمل العدوى وقد سُميت **بالفيروسات** .

(١٣) الميكرون وحدة قياس تساوى $\frac{1}{1000}$ من المليمتر أو ٠.٠٠١ من السنتيمتر .

على أن اكتشاف التقنية الألترا ميكروسكوبية (*) (باستخدام الأشعة الضوئية فوق البنفسجية) وتطويرها لم يتم منذ عهد قريب نوعا ، وخاصة اختراع الميكروسكوب الألكترونى (حيث يسمح استخدام الأطياف الألكترونية بدرجة تكبير تفوق بكثير نظيرها فى الأشعة الضوئية العادية ، وقد تمكن علماء البيولوجيا بفضل هذا الاختراع من رؤية تفاصيل البناء الداخلى للفيروس وهو ما كان متعذرا قبل ذلك .



وقد وجد أن الفيروسات ، على اختلافها ، عبارة عن جسيمات متميزة تتساوى جميعها فى الحجم الذى يكون أصغر من البكتيريا العادية . (شكل ١٠٣) ومن ثم فإن جسيمات فيروس الأنفلونزا ذات شكل كروى دقيق بقطر طوله ١٠ μ ، بينما يبلغ طول فيروس الفسيفساء الاسطوانى العضوى ٢٨٠ μ أما العرض فيكون ١٥ μ .

ويعتبر فيروس فسيفساء التبغ حتى الآن أصغر نوع معروف من الوحدات الحية . فاذا تذكرنا أن قطر الذرة حوالى ٣ $\times 10^{-4}$ μ نستنتج أن فيروس الفسيفساء يساوى فى عرضه خمسين ذرة فقط تقريبا وفى

(*) أى فوق المجهرية (المترجم) .

طوله حوالى ألف ذرة وعلى امتداد محوره نجد أن حجمه لا يزيد عن بضعة الملايين من الذرات (١٤) ! .

ويذكرنا هذا الرقم فى الحال برقم مماثل يعبر عن عدد الذرات فى جين مفرد ، ويوحى بإمكانية اعتبار أن جسيمات الفيروسات « جينات حرة » تقبل الاتحاد مع بعضها فى مستعمرات مستطيلة يطلق عليها الكروموزومات ، وتحيط نفسها بكتلة ثقيلة نسبيا من البروتوبلازم الخلوى .

والواقع أن عملية التكاثر الفيروسي تخضع على ما يبدو لنفس القواعد التى تخضع لها الكروموزومات فى التضاعف عن طريق انقسام الخلايا :

حيث ينقسم الجسم بأكمله على امتداد محوره بحيث يسمح بنشوء جسيمين فيروسيين كاملى الحجم . والواضح أن الأساس فى عملية التكاثر (الموضحة فى شكل ٩١ لحالة افتراضية من تضاعف الكحول) أن تجتذب المجموعات الفيروسية المختلفة الواقعة على امتداد الجزىء المعقد من الخارج مجموعات ذرية مماثلة من الوسط المحيط بها وترتب الأخيرة نفسها بنفس النظام الجزئى الأصيل . وعندما تنتهى عملية الترتيب ينفصل الجزىء الجديد ، الذى يكون قد بلغ مرحلة النضج بالفعل ، مبتعدا عن الجزىء الأصيل . ويبدو أن عملية « التكاثر » المعتادة لا تحدث فى النظم الحية الأولية ، حيث تولد الأفراد الجديدة « عضوا عضوا » على امتداد جسم النظام الأصيل ببساطة . ويمكن أيضا أن يقال عن طريق تخيل طفل صغير ينمو خارج جسم الأم ملتصقا بها ، بحيث ينفصل عنها ويمشى مبتعدا عن جسمها حين يكتمل نموه فيصبح رجلا أو امرأة (سوف لا أرسم هذه الصورة على الرغم من جاذبية الفكرة) . وبديهي أنه حتى يحدث هذا التكاثر لابد وأن يمضى النمو فى وسط نصف عضوى خاص ، والواقع أنه على النقيض من البكتريا التى تمتلك بروتوبلازما خاصة بها لا تستطيع الجسيمات الفيروسية أن تتكاثر الا داخل بروتوبلازم النظم الأخرى لكونها تعنى عناية بالغة باختيار « غذائها » .

ومن الصفات الشائعة الأخرى فى الفيروسات أنها تخضع للطفرات

(١٤) قد يكون عدد الذرات التى يتألف منها جسم الفيروس عمليا أقل من ذلك بكثير حيث أنه من الممكن جدا أن يكون « فارغا من الداخل » باعتباره يتكون من سلسلة جزيئية ملتوية من النوع الموضح فى شكل ١٠١ . فإذا افترضنا أن فيروس النسخ يكون بهـ الشكل (المرسوم فى شكل ١٠٣) فلا بد أن مجموعات الفيروسات المختلفة لا توجد الا على سطح الاسطوانة وبذا ينخفض العدد الكلى للذرات فى كل جسيم الى ما لا يزيد عن بضع مئات الآلاف ، وينطبق نفس المنطق أيضا على عدد الذرات فى الجين المفرد بالطبع .

وأن الأفراد المتطفرة تنقل الصفات المكتسبة حديثا لذرياتها طبقا لكافة قوانين الجينات المعروفة . ولقد نجح علماء البيولوجيا ، فى الواقع ، فى تمييز العديد من السلالات الوراثة لنفس النوع من الفيروس واقتفاء أثر « التطور العرقى » . وعندما تجتاح أوبئة الانفلونزا المجتمعات تستطيع أن تكون على ثقة من أن السبب فيها يرجع الى نوع جديد من فيروس الانفلونزا المتطفرة التى لم يستطع الجسم البشرى أن يفرز لها النوع الذى يتلاءم معها من المناعة .

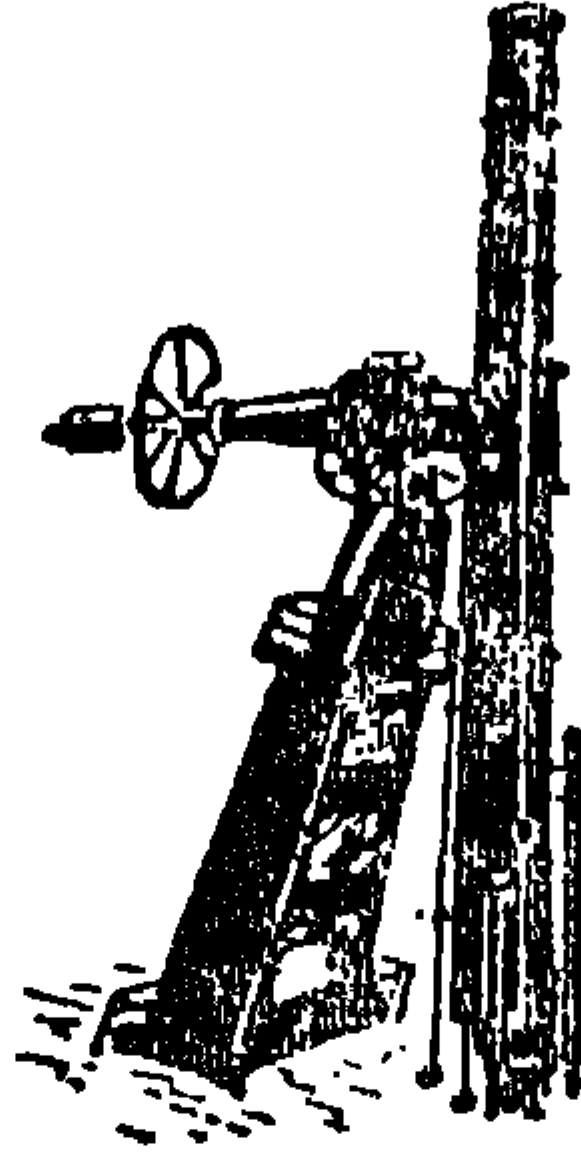
لقد ناقشنا فى الصفحات السابقة عددا من الحجج القوية التى تؤكد أن الجسيمات الفيروسية يجب النظر اليها بوصفها وحدات حية . ويمكننا الآن أن نؤكد بنفس القدر من الثقة أن هذه الجسيمات هى فى الوقت ذاته جزيئات كيميائية عادية تخضع لكافة قوانين وقواعد الفيزياء والكيمياء . والواقع أن الدراسات الكيميائية البحتة لمادة الفيروسات تثبت أى أن فيروس يمكن اعتباره من المركبات الكيميائية من حيث التركيب ، ويمكن أن يعامل معاملة المركبات العضوية المعقدة (ولكن غير الحية) ، وأن هذه الفيروسات تخضع لمختلف أنواع التفاعلات التبادلية . ويبدو فى الواقع أن توصل الكيميائيين البيولوجيين الى كتابة رمز الفيروس بنفس القدر من البساطة الذى يكتبون به صيغة الكحول ليس الا مسألة وقت . والأعجب من ذلك أن الجسيمات الفيروسية لنوع ما تتساوى فى الحجم تماما مع بعضها لآخر ذرة .

ولقد اتضح فعلا أن الفيروسات التى تحرم من الوسط الغذائى الذى يناسب بقاءها ترتب نفسها فى الأنماط المعتادة للبلورات العادية . لذا فإن الفيروسات المعروفة بـ « فيروس وقف نمو الطماطم » تتبلور على شكل معين اثنا عشرى جميل ! وبمقدورك أن تضع هذه البلورة فى نفس الفئة مع مجموعة الفلسبار والملح الصخرى ، ولكن تعريض الطماطم لها يجعلها تتحول الى حشد من المخلوقات الحية .

لقد خطا كل من « هينز فرانكل كونترات » و « روبلى ويليامز » خطوة هامة تعتبر أولى خطوات تخليق المادة العضوية الحية من مواد غير عضوية وذلك فى معهد الفيروسات بجامعة كاليفورنيا فقد نجحا بالتجربة فى تقسيم فيروس فسيفساء التبغ الى نصفين كل منهما يعتبر جزيئا من الجزيئات العضوية وان كان أكثر تعقيدا الى حد ما . ولقد كان من المعروف لفترة طويلة أن هذا الفيروس يتألف من حزمة من الجزيئات الطويلة المستقيمة التى تعتبر المادة المنظمة (وهى الحامض النووى الريبوزى) ويحيط بهذه الحزمة جزيئات بروتينية طويلة ملتفة حولها فيما يشبه ملفا من السلك الكهربى المحيط بالمغناطيسى فى النظم الالكترومغناطيسية .

ونجح « فرانكل كونترات » و « ويليامز » فى تقسيم هذه الجسيمات الفيروسية باستخدام مختلف منشطات التفاعل الكيميائى (المفاعلات) فاستطاعا الفصل بين الحامض الريبوزى والجزيئات البروتينية دون افساد اى منها . وبذلك حصلوا فى أنبوبة اختبار على محلول مائى للحامض النووى الريبوزى وفى أنبوبة أخرى على محلول الجزيئات البروتينية . ولقد اتضح من الميكروسكوبات الالكترونية أن أنابيب الاختبار لا تحتوى الا على جزيئات هاتين المادتين وان كانت ميتة .

ولكن عند الجمع بين المحلولين بدأت جزيئات الحامض النووى الريبوزى فى الاتحاد فى مجموعات كل منها يتكون من ٢٤ جزيئا فى حزمة واحدة ثم بدأت جزيئات البروتين فى الالتفاف حولها لتعطى فى النهاية صورة طبق الاصل من الجسيم الفيروسى الذى بدأت به التجربة . وعند وضع هذه الفيروسات على أوراق نبات التبغ (هذه الفيروسات التى قسمت ثم جمعت أجزاؤها ثانية) تسببت فى اصابة التبغ بداء الفسيفساء وكانها لم تتعرض لآى تقسيم أو يغيرها التغير . ولقد حصل العالمان فى هذه التجارب على المكونات الكيميائية للفيروس عن طريق تقسيم الكائن الحى . ويبقى الآن أن ينجح علماء الكيمياء الحيوية فى وضع أيديهم على الطرق التى يمكن استخدامها فى تركيب كل من الحامض النووى الريبوزى وجزيئات البروتين من مواد كيميائية عادية . وعلى الرغم من أنهم حتى الآن (١٩٦٥) لم ينجحوا الا فى تركيب القليل من جزيئات هاتين المادتين فلا يوجد ما يمنع مع مرور الوقت من امكن تخليق هذه الجزيئات من العناصر البسيطة . ثم بجمعها معا سنجد لدينا جسيما فيروسيا من صنع الانسان .



الجزء الرابع

الكون الأكبر

الفصل العاشر

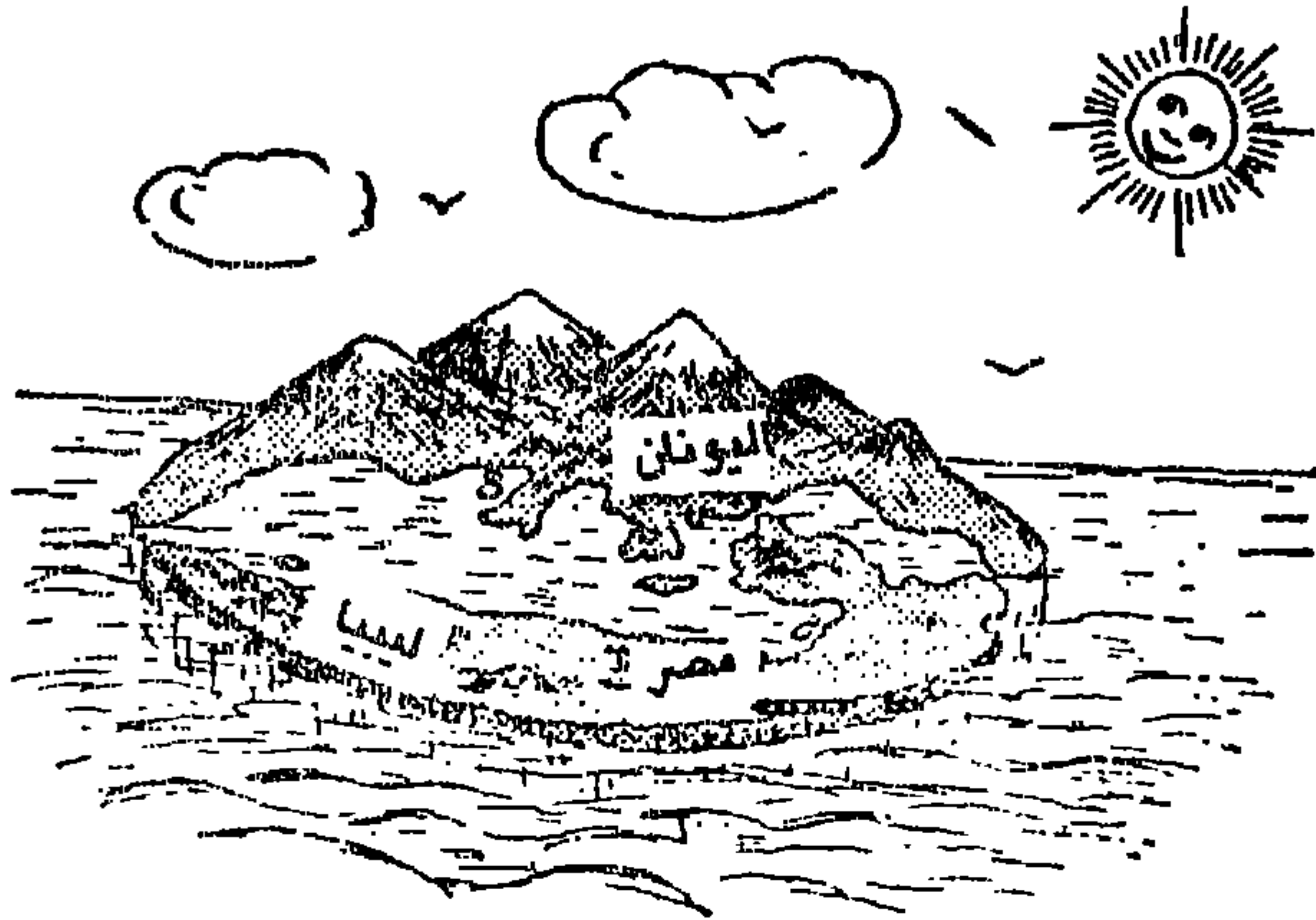
آفاق غير محدودة

١ - الأرض وما يجاورها :

والآن بعد عودتنا من رحلتنا فى مملكة الجزيئات والذرات والانوية نعود الى موضوع أكثر شيوعا بيننا ، وسنبدا رحلة جديدة ولكن فى الاتجاه العكسى هذه المرة ، أى نحو النجوم والسحب النجمية والحدود المترامية للكون . وهنا فى حالة الكون الأكبر نجد أن التقدم العلمى يمضى بنا خطوات أبعد وأبعد عن الأمور اليومية المعتادة ويفتح أمامنا بالتدرج آفاقا لا حدود لها .

اعتقد الانسان فى فجر الحضارة أن هذا الشيء الذى نطلق عليه الكون صغير الى درجة مضحكة . وكان يتخيل أن الأرض قرص مسطح طاف على سطح محيط الكون . وتحت هذا العالم لم يكن هناك (من وجهة نظره) الا الماء على أعماق سحيقة الى أقصى ما يمكن للانسان أن يتخيله ومن فوقه السماء مستقر الآلهة ، وكان لهذا القرص من الاتساع ما يكفيه لحمل كل الأراضى التى عرفها علماء الجغرافيا فى ذلك العصر : أى شواطئ البحر المتوسط والمناطق المطلة عليه من أوروبا وإفريقيا وجزء من آسيا ، وكان الجزء الشمالى من القرص محدودا بسلسلة من الجبال المرتفعة ومن ورائها تختفى الشمس أثناء فترة الليل لتتهجج على سطح المحيط الكونى . ونرى من شكل ١٠٤ صورة تعطينا فكرة دقيقة الى حد كبير عن صورة العالم

فى عيون أهل العصور القديمة ، ولكن فى القرن الثالث قبل مجىء السيد المسيح ظهر رجل عارض هذه الصورة المبسطة للعالم التى كانت تلقى قبولا عاما بين أهل زمانه . وكان هذا الرجل هو الفيلسوف الاغريقى (هكذا كانوا يسمون العلماء فى ذلك الوقت) أرسطو .

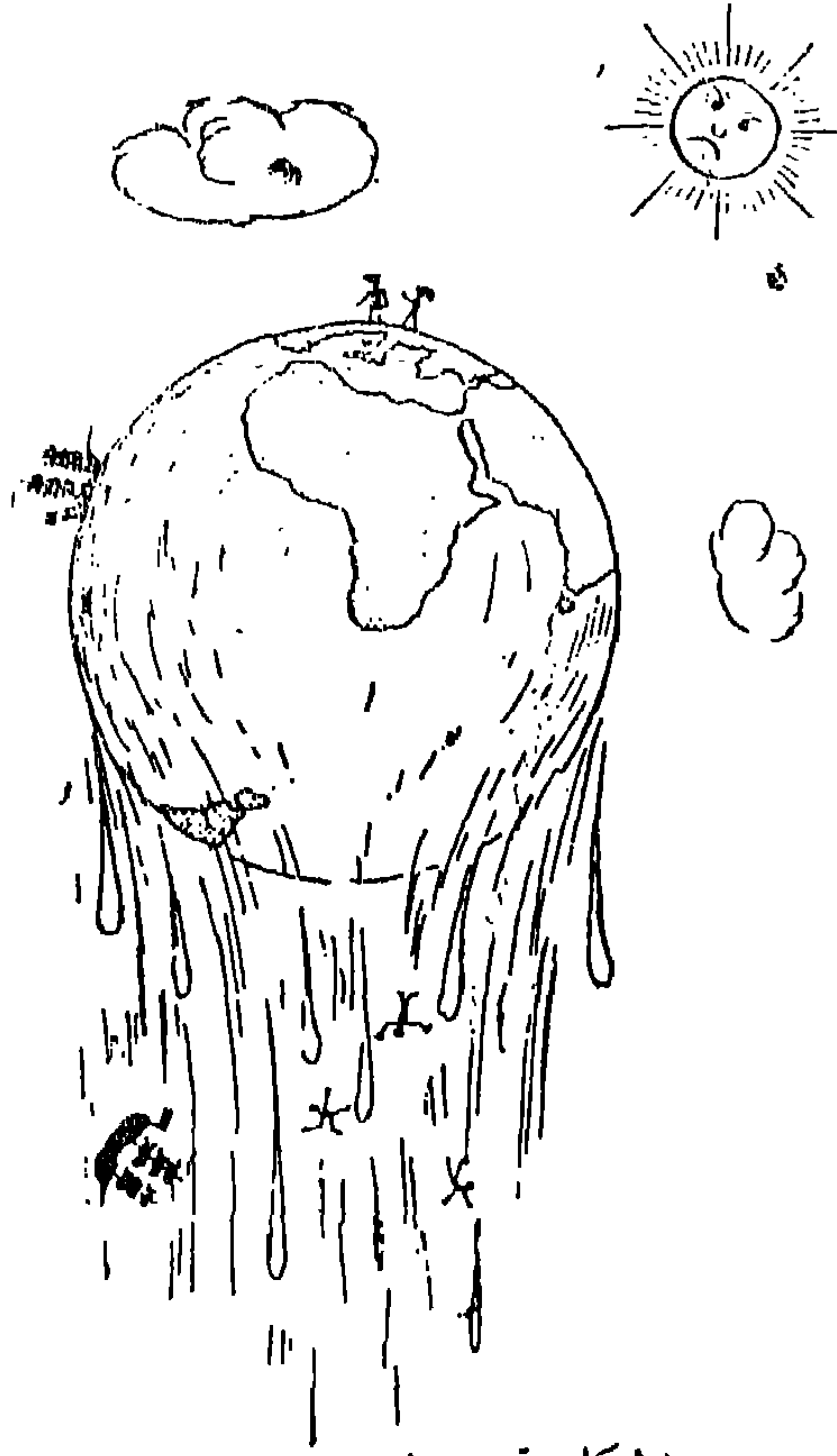


(شكل رقم ١٠٤)

العالم كما كان يتخيله القدماء

وقد طرح أرسطو فى كتابه « عن السماء » نظرية تنادى بأن الأرض كروية ، تغطيها اليابسة فى أجزاء والماء فى أجزاء أخرى ويحيط بها الهواء . وأيد هذه النظرية بعدة أدلة تبدو لنا الآن بديهية حيث أشار الى أن السفن تتدرج فى الاختفاء عن الابصار فيما وراء الأفق فيختفى الجسم أولا ويظل الصنارى ظاهرا كما لو كان خارجا من الماء مما يدل على أن سطح الأرض مقوس وليس مسطحا ، وأرجع خسوف القمر الى سقوط ظل الأرض على سطح هذا التابع ، وحيث ان هذا الظل دائرى فلا بد أن تكون الأرض مستديرة كذلك . ولكن لم يصدقه فى ذلك الوقت الا قليلا من الناس ، فلم يكن بمقدور أهل الأرض أن يفهموا كيف يمكن ان يسير الناس الموجودون على الجانب الآخر من الأرض (وكانوا يطلقون عليهم المقابلون ، وهم الاستراليون فى العصر الحديث) فى مثل هذا الوضع المقلوب دون أن يسقطوا . وكيف تحتفظ الأرض بماء البحار فى هذه الأجزاء اذا كانت الأرض مستديرة حقا ؟ (شكل ١٠٥) .

فلم يكن الناس يدركون فى ذلك الوقت أن الأشياء تسقط الى أسفل بفعل الجاذبية الأرضية ، اذ كان « أعلى » و « أسفل » بالنسبة لهما اتجاهين مطلقين لا يتغيران بتغيير المكان .



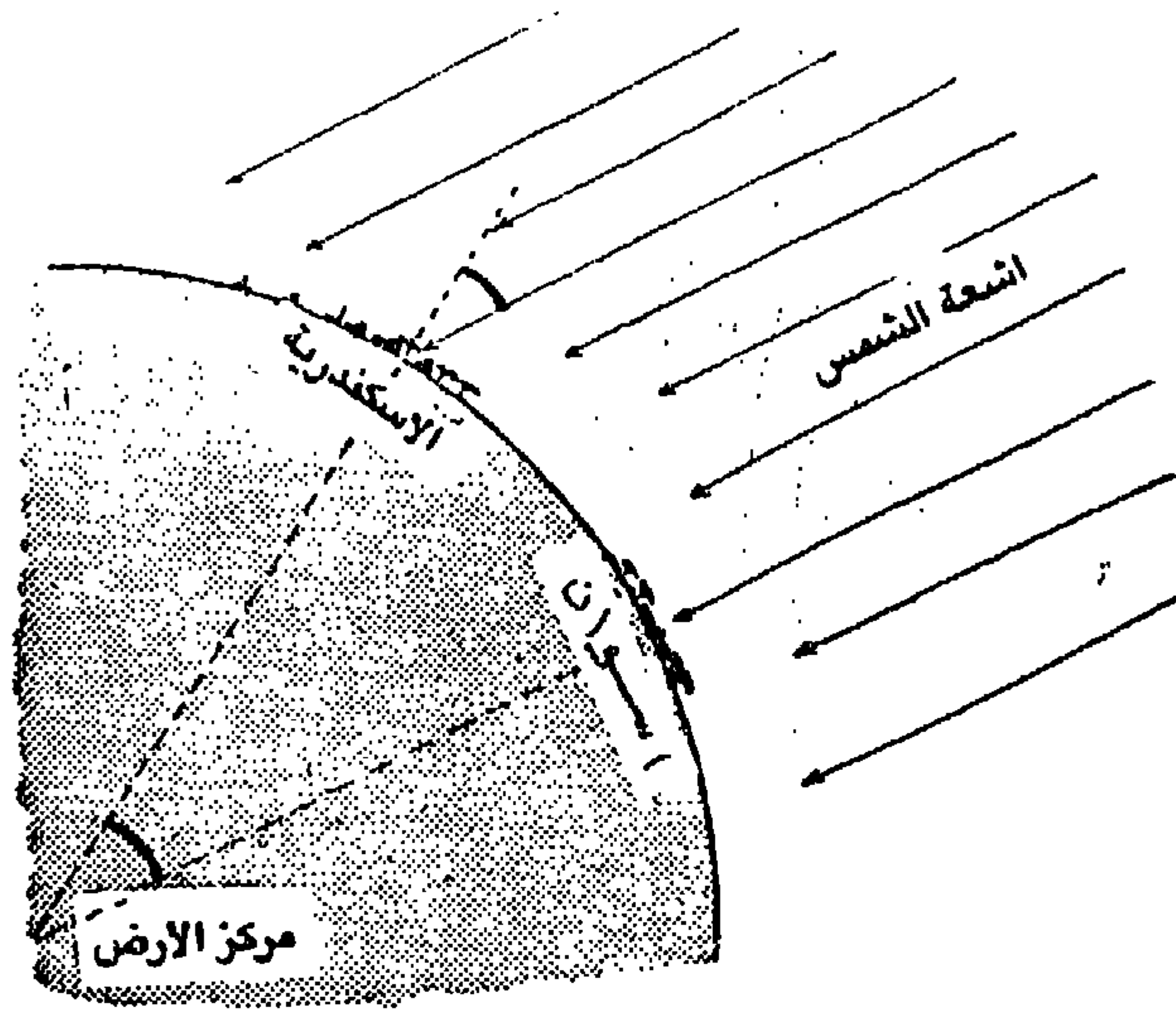
(شكل رقم ١٠٥)

الاعتراض على فكرة كروية الارض

ويبدو ان فكرة « أعلى » الذي يصبح « أسفل » وأسفل الذي يصبح أعلى عندما تنتقل الى نصف الكرة الأرضية الآخر فكرة بلهاء مثلما تبدو للبعض نتائج النظرية النسبية التي أبدعها أينشتاين في عصرنا هذا . وكان سقوط الأجسام الثقيلة لا يفسر بقوة جذب لها كما نقول الآن ولكن « بالميل الطبيعي » في كل الأشياء للاتجاه الى أسفل . وهكذا اذا خاطرت بالذهاب الى النصف الآخر من الأرض (وكانت كروية) فلا بد من سقوطك الى أسفل حيث السماء الزرقاء ! فما أقوى المعارضة التي واجهت هذه الفكرة الجديدة ! لدرجة أنك ترى في كثير من الكتب التي طبعت في القرن الخامس أي بعد ألفي عام من أرسطو رسوما يظهر فيها سكان الجزء المقابل من الأرض واقفين على رؤوسهم على « أسفل » الكرة الأرضية ، كنوع من السخرية من الفكرة . وربما كان « كولامبس » العظيم نفسه في شك

من خطته عندما بدأ رحلته لاكتشاف « الطريق العكسي الى الهند » والواقع أنه لم ينجح في ذلك لأن قارة أمريكا اعترضت سبيله ولم يتبدد هذا الشك بصفة نهائية الا بعد قيام الرحالة الشهير « فرناندو دي ماجالانس » (المعروف بماجيلان) برحلته البحرية حول العالم .

وحين أدرك البشر لأول مرة أن الأرض على شكل كرة عملاقة كان من الطبيعي لهم أن يتساءلوا عن حجمها بالنسبة لأجزاء العالم المعروفة في هذا الوقت . ولكن كيف يمكن قياس الأرض دون القيام برحلة حول العالم ، وهو ما كان أمرا بعيد المنال بالنسبة لفلاسفة الاغريق .



(شكل رقم ١٠٦)

حسن . . هناك حل ، وكان أول من اكتشفه العالم الشهير آنذاك « اراتوستينيس » الذي عاش في الاسكندرية : منارة الحضارة الاغريقية في مصر ابان القرن الثالث قبل الميلاد فقد سمع من سكان مدينة « أسوان » جنوب نهر النيل والتي كانت تبعد مسافة ٥٠٠٠ ستاديوم عن الاسكندرية أنه عند الانقلاب الصيفي (*) تكون شمس الظهيرة عمودية تماما على الأرض بحيث تختفي ظلال الأجسام كلها . ومن ناحية أخرى كان « اراتوستينيس » يعرف أن شيئا من هذا القبيل لم يحدث أبدا في الاسكندرية وأنه في نفس اليوم تتحرك الأرض سبع درجات (أو $\frac{1}{6}$ من محيط دائرة كاملة) بعيدا عن سمت الرأس (النقطة التي تعلو الرأس تماما) . وبافتراض أن الأرض مستديرة فسر العالم السكندري هذه الظاهرة تفسيرا سهلا

(*) في ٢٢ يونية (حزيران) .

تستطيع أن تفهمه بمجرد النظر الى شكل (١٠٦) . والواقع أنه لا كانت الأرض تنحني بين المدينتين فان أشعة الشمس التي تسقط عموديا في « أسوان » لابد وأن تصل الى الأرض بزاوية معينة في مدينة الاسكندرية التي تقع شمالا ، وتستطيع أن ترى من هذا الشكل أيضا أننا لو رسمنا خطين مستقيمين من مركز الأرض بحيث يمر أحدهما بالاسكندرية والآخر بمدينة « أسوان » فان زاوية التقاء الخطين (*) ستكون مساوية تماما للزاوية التي يصنعها تلاقي الخط المرسم — من مركز الأرض حتى الاسكندرية (أى الاتجاه العمودى في الاسكندرية) مع أشعة الشمس في نفس وقت تعامدها على « أسوان » مباشرة .

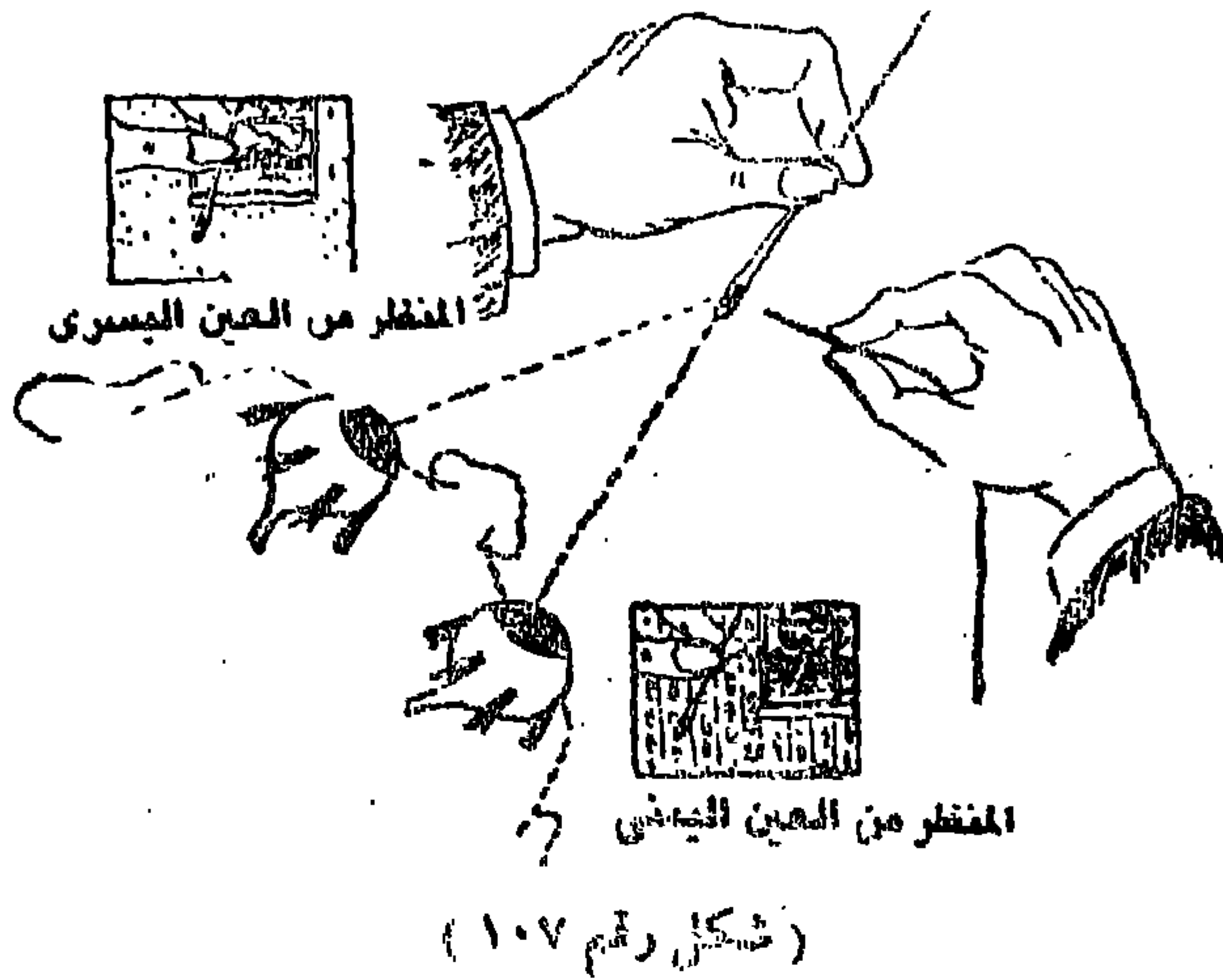
وحيث ان هذه الزاوية تعادل $\frac{1}{4}$ من دائرة كاملة فان المحيط الكلى للكرة الأرضية لابد وأنه يساوى ٥٠ ضعفا للمسافة بين المدينتين أو ٢٥٠٠٠ ستاد يوم . والستاديوم المصرى حوالى $\frac{1}{3}$ ميل لذا فان المسافة تساوى ٢٥٠٠ ميل أو ٤٠٠٠ كم وهكذا يكون حساب « اراتوستينس » قريبا جدا من أفضل التقديرات الحديثة .

ولكن العبرة أساسا لم تكن فى دقة أول قياس للأرض ولكن فى ادراك مدى اتساعها ، وأن سطحها الإجمالى يبلغ مساحة تفوق مساحة الأرض المعروفة بمئات المرات مما أثار الدهشة وأخذ الناس يتساءلون عن مدى صحة تقديره . وعما يكمن وراء حدود الأرض المعروفة لهم آنذاك . . . وهو أمر يشبه جيرتنا حينما نتحدث عن المسافات الفلكية ولا بد أولا أن نتعرف على ما يطلقون عليه « الازاحة المكانية » أو ببساطة اختلاف الوضع الزاوى أو الاختلاف الظاهرى للموضع Parallax

وقد تبدو الكلمة مخيفة قليلا ولكنها فى الحقيقة غاية فى البساطة والنفع ، عندما نتحدث عن أبعاد الكون . ولنا أن نبدا محاولتنا للتعرف على هذا المصطلح بمحاولة ادخال خيط فى ثقب ابرة : حاول أن تفعل ذلك باغلاق عين وفتح الأخرى وسرعان ما تجد أن المحاولة ستفشل ، فانك اما أن تدخل الخيط مسافة طويلة أكثر من اللازم فى البرة أو تقف به قبل الثقب . فباستخدام عين واحدة لن نستطيع الحكم على المسافة بين البرة والخيط ، ولكن باستخدام عينيك معا تستطيع ذلك بسهولة أو على الأقل ستتعلم بسهولة . فعندما تنظر الى جسم ما باستخدام عينيك الاثنتين يتركز النظر تلقائيا على هذا الشيء وكلما كان أقرب كلما اقتربت عيناك من بعضهما بحيث أن الحركة العضلية المطلوبة لاحداث هذا الضبط تعطيك فكرة جيدة تماما عن المسافة .

(*) زاوية محيطية (المترجم) .

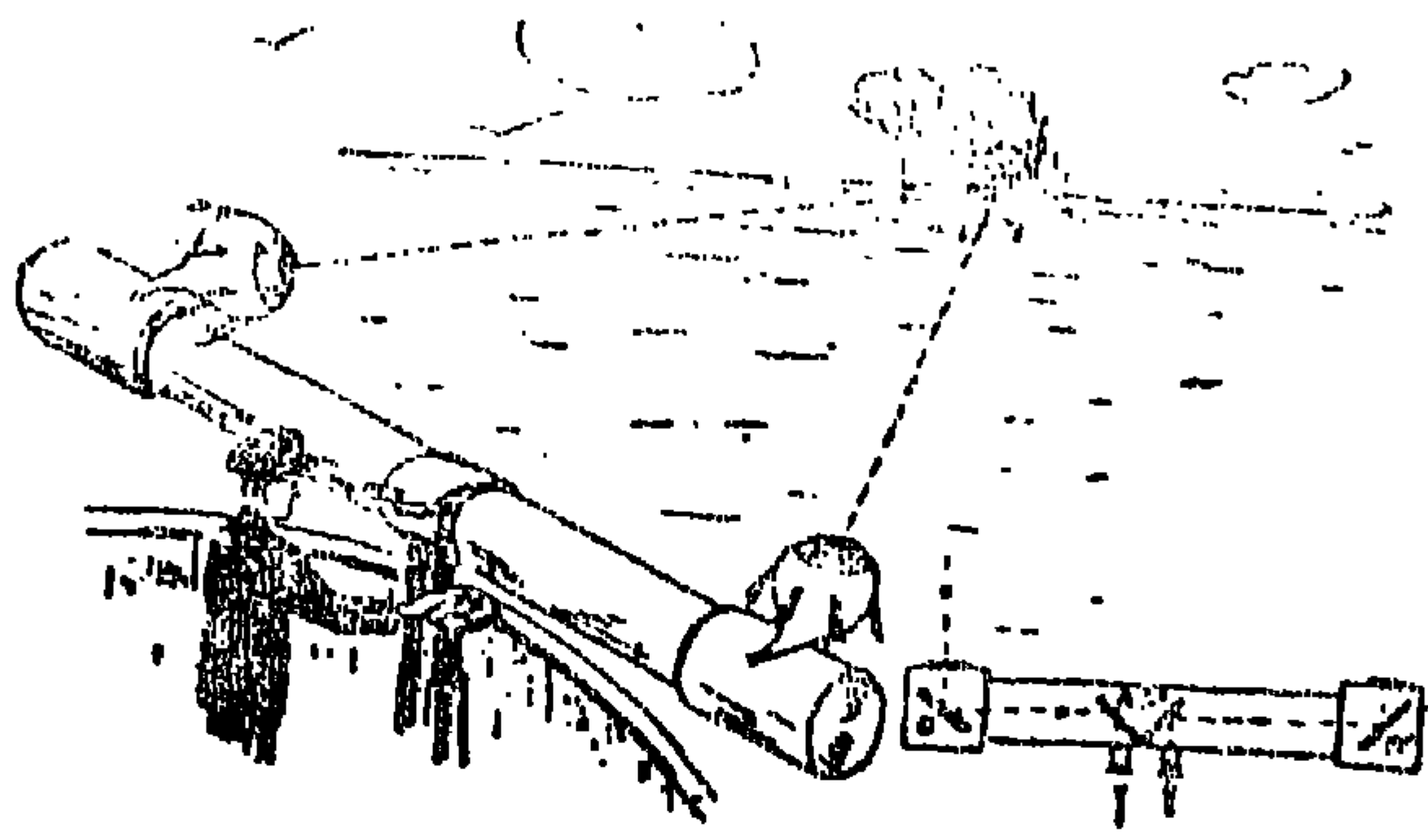
والآن اذا استخدمت ، بدلا من ذلك : عينا واحدة ثم أغمضتها وفتحت الأخرى ستلاحظ أن مكان الجسم (وهو الابرة في هذه الحالة) بالنسبة الى خلفية بعيدة عنه (لنقل أنها النافذة) قد تغير .



ويعرف هذا الأثر بالازاحة المكانية او الاختلاف الظاهري وهو بالتاكيد معروف لكل منا وان كنت لم تسمع به مطلقا فما عليك الا النظر الى شكل ١٠٧ ، وكلما كان الجسم بعيدا كلما كانت هذه الازاحة أقل ولذا نستطيع استخدامها في قياس المسافات ، وحيث أنه من الممكن قياس الازاحة بدقة باستخدام الدرجات المحيطية فان هذه الطريقة أدق من الحكم على المسافة بالاعتماد على الحركة العضلية في كرة العين . ولكن لما كانت المسافة بين العينين لا تزيد عن ٣ بوصات (٧ سم) فان استخدامها لتقدير المسافات لا يصلح فيما يزيد عن بضعة أمتار ، وفي حالة الأجسام الأبعد يصبح محورا العينين متوازيين تقريبا وتصبح الازاحة المكانية أصغر من أن تقاس . وحتى نحكم على المسافات الأكثر بعدا لابد من أننا سنحتاج الى أن نحرك عينيها الى مسافة أبعد عن بعضهما . وبالتالي نزيد زاوية الازاحة المكانية . ولست بحاجة الى عملية جراحية لتقوم بذلك ويمكنك أن تستعين بدلا منها بمرآة .

نرى في الشكل جهازا استخدمته البحرية (قبل اختراع الرادار) لقياس بعد السفن المعادية أثناء المعركة . وهو عبارة عن أنبوب طويل به مرآتان (أ ، أ) أمام كل عين واحدة ، ومرآتان أخريان (ب ، ب) عند طرفي الأنبوبة . وبالنظر الى مثل هذا الجهاز ستري وكأن لك عين عند

الطرف ب والأخرى عند الطرف ب' ، وتصبح المسافة بين العينين والتي يطلق عليها القاعدة البصرية أكثر بعدا فيمكنك قياس مسافات أبعد . على أن رجال البحرية لا يقصرون اعتمادهم على مجرد الاحساس بالمسافة باستخدام عضلات كرة العين . ولكن معين المدى يكون مجهزا بعدادات خاصة وأقراص رقمية تقيس الازاحة المكانية بأقصى قدر ممكن من الدقة .

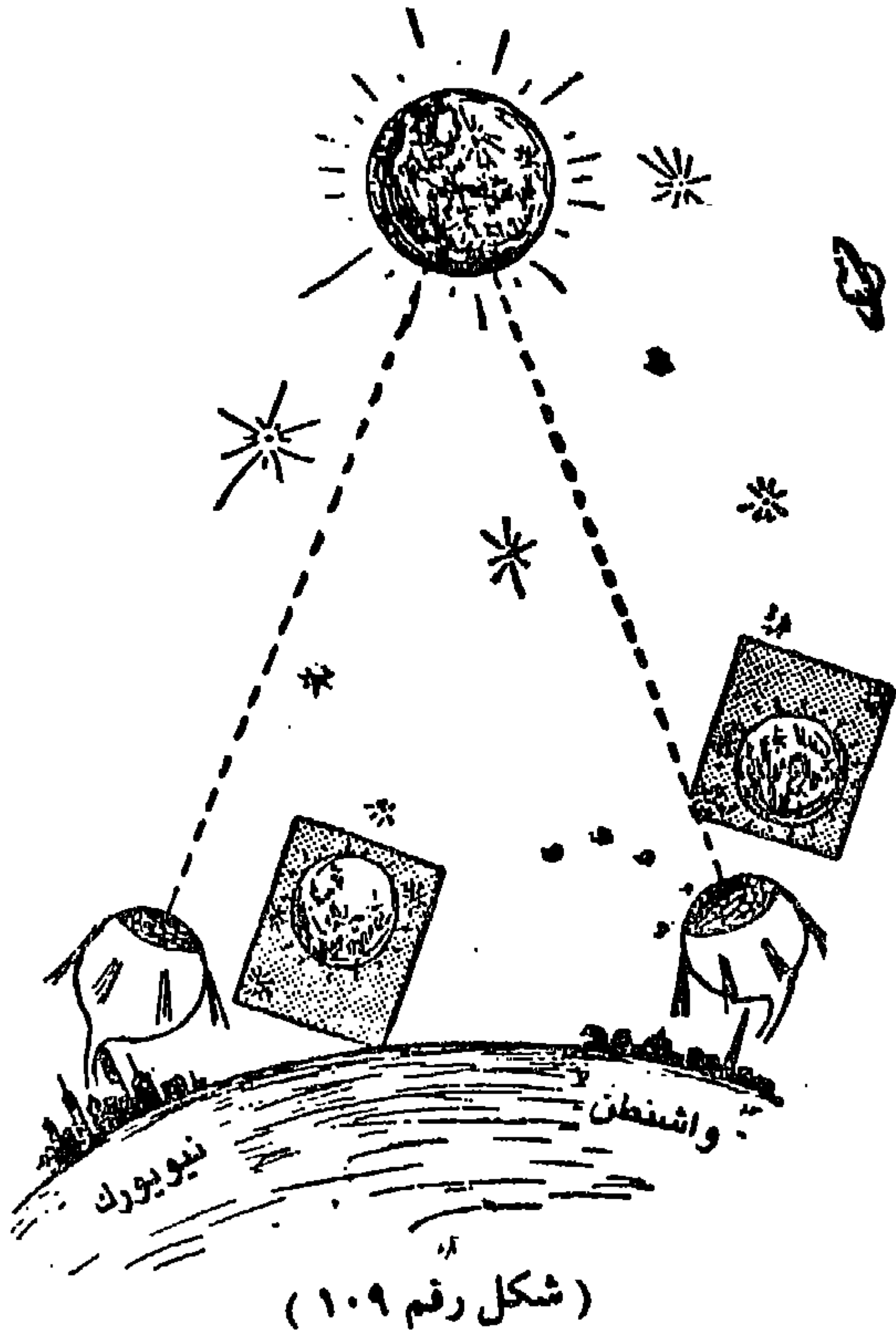


(شكل رقم ١٠٨)

ورغم أن هذا الجهاز يعمل بكفاءة تامة حتى ولو كانت السفينة المعادية تكاد تكون وراء الأفق إلا أنها تفشل فشلا ذريعا عند محاولة تحديد بعد أى جرم سماوى مهما كان قريبا ولو كان القمر . وحتى نلاحظ الازاحة المكانية للقمر بالنسبة للنجوم البعيدة عنه فلا بد وأن يصبح طول القاعدة البصرية ، أى المسافة بين العينين ، عدة كيلومترات على الأقل ، ولكننا لا نحتاج بالطبع الى صنع تلسكوب خرافى يتحتم على من ينظر فى فتحتى الرؤية فيه أن يضع عينا فى واشنطن مثلا ، والعين الأخرى فى نيويورك ، اذ نستطيع الاكتفاء بأخذ صورتين للقمر من المدينتين فى نفس الوقت ومن ورائه خلفية من النجوم المحيطة به . واذا وضعت هاتين الصورتين فى الاستيروسكوب stereoscope الذى يجسم الصور سترى القمر متدليا أمام خلفية من النجوم . وبقياس صور النجوم والقمر المأخوذة فى مكانين متباعدين على سطح الأرض (شكل ١٠٩) اهتدى علماء الفلك الى أن الازاحة المكانية للقمر كما تظهر من المكانين على نهايتى قطر الأرض هى 5.24×10^6 ويترتب على ذلك أن المسافة الى القمر تعادل طول قطر الأرض 3.014×10^8 مرة أى $384,403$ كم أو $238,857$ ميلا .

واذا رصدنا الزاوية القطرية للقمر سنجد أن قطر التابع الأرضى حوالى $\frac{1}{4}$ قطر الأرض . وأن مساحة سطحه لا تزيد على $\frac{1}{16}$ من مساحة

ونستطيع بأسلوب مشابه قياس المسافة الى الشمس على الرغم من أن الشمس أبعد من ذلك بكثير وبالتالي فإن القياسات تكون أكثر صعوبة أيضا ، وقد وجد علماء الفلك أن بعد الشمس عن الأرض يساوي ١٤٩ر٤٥٠ر٠٠٠ كم (٩٢ر٨٧٠ر٠٠٠ ميل) أو ٣٨٥ مرة قدر المسافة الى القمر . وهذا هو السبب في أن الشمس تبدو في حجم القمر وهي في الحقيقة أضخم منه بكثير ذلك أن طول قطرها يعادل طول قطر الأرض ١٠٩ مرة .



ولو كانت الشمس ثمرة قرع ضخمة لكانت الأرض حبة من حبوب البازلاء ، والقمر بذرة من بذور الحشخاش ، أما أضخم ناطحات السحاب في نيويورك فستغدو في حجم أصغر خلية بكتيرية يمكن رؤيتها بالميكروسكوب . ومن المجدى هنا أن نتذكر أن الفيلسوف الاغريقي القديم « أناكسوجوراس » نال عقوبة النفي جزاء تقدميته ، بل وهدد بالقتل اذا استمر في الحديث عن الشمس باعتبارها كرة كبيرة من النار تماثل في حجمها حجم اليونان كلها ! .

ويستطيع الفلكيون أن يحسبوا بعد الكواكب المختلفة في النظام الشمسي بنفس الطريقة . وقد قدر بعد كوكب بلوتو الذي لم يتم اكتشافه الا حديثا والذي يعتبر أبعد هذه الكواكب عن الأرض بحوالى ٤٠ ضعفا لبعد الشمس عن الأرض ، واذا شئنا الدقة فان هذه المسافة تساوى ٣٦٦٨ × ٩١٠ ميلا .

٢ - عالم النجوم :

والآن ننتقل الى الخطوة التالية من الكواكب الى النجوم ومرة ثانية يمكن استخدام الازاحة المكانية . وسوف نجد أن أقرب النجوم اليها بعيد جدا الى درجة أن أبعد نقاط الملاحظة المتاحة لنا (على جانبى الكرة الأرضية) لا تظهر فيها أى ازاحة مكانية ملحوظة بالنسبة الى الخلفية النجمية عموما . ولكن رغم ذلك لا يزال هناك حل . فاذا كنا قد استخدمنا الأبعاد الأرضية لقياس حجم مدار الأرض حول الشمس فلم لا نستخدم هذا المدار لتقدير المسافة الى النجوم ؟ وبعبارة أخرى ألا يمكن ملاحظة الازاحة المكانية نسبيا (لبعض النجوم على الأقل) عن طريق النظر اليها من نهايتى مدار الأرض . وهذا يعنى أن علينا الانتظار مدة نصف عام كفترة بينية بين الملاحظتين ، ولكن لم لا ؟ .

لقد بدأ الفلكى الالماني « بسل » فى مقارنة المواقع النسبية للنجوم عام ١٨٣٨ اعتمادا على هذه الفكرة . وفى البداية كان حظه سيئا : فقد كانت النجوم التى اختارها بعيدة جدا بحيث لم يلحظ أى ازاحة مكانية حتى باستخدام مدار الأرض كقاعدة بصرية والانتظار لمدة نصف عام بين الملاحظتين . ولكن عجبها ها هوذا أخيرا النجم المعروف فى القائمة الفلكية باسم الدجاجة ٦١ (النجم الواحد والستين فى ترتيب الكواكب الخافتة الضوء فى كوكبة البجعة) (*) . والذي اختلف مكانه قليلا بعد نصف عام من الملاحظة الأولى (شكل ١١٠) .

وبعد ذلك بنصف عام عاد النجم الى موقعه القديم فالأمر اذن مرده الى الازاحة المكانية (أو اختلاف الوضع) . وبذلك كان « بسل » أول من يتخطى حدود النظام الشمسي وينطلق الى الفضاء النجمى متقدما على كثير من معاصريه . وقد كانت الازاحة الملاحظة « للدجاجة ٦١ » ضئيلة جدا فى الواقع حيث لم تزد عن ٦ر ثانية زاوية (٢) وهى الزاوية التى يمكن بها أن ترى رجلا على بعد ٥٠٠ ميل اذا كان لك القدرة على الرؤية على

(*) كوكبة شمالية (المترجم) .

(٢) وبتقدير أدق ٦٠٠ر ٥٠٠٠٠٠ .

هذا البعد أساسا ! ولكن الأجهزة الفلكية دقيقة جدا ويمكنها قياس حتى هذه الزوايا بدرجة عالية من الدقة . وباستخدام الازاحة الملاحظة وقطر مدار الأرض المعروف امتدى بسبل الى أن هذا الكوكب يبعد مسافة 1.3×10^{14} كم أى أبعد من الشمس بـ ٦٩٠ ٠٠٠ ألف مرة ! ومن الصعب الى حد ما أن نلم بمغزى هذا الرقم ففي مثالنا السابق الذى كانت الشمس فيه ثمرة من ثمار القرع والأرض حبة بازلاء تدور حولها على مسافة ٢٠٠ قدم نجد أن بعد هذا النجم يبلغ ٣٠٠٠٠ ميل ! .

ومن المتعارف عليه فى الفلك أن نتحدث عن المسافات البعيدة جدا بالفترة التى يمكن للضوء أن يقطعها فيها (سرعة الضوء ٣٠٠ ٠٠٠ كم فى الثانية) . ويحتاج الضوء الى $\frac{1}{8}$ ثانية للدوران حول الأرض ، وأزيد قليلا من ثانية واحدة ليصل الى الأرض آتيا من القمر وحوالى ٨ دقائق حتى يقطع المسافة اليها من الشمس أما النجم « دجاجة ٦١ » وهو أحد أقرب جيراننا فى الكون فإن الضوء يصل اليها منه فى ١١ عاما تقريبا . فإذا حدث وانطفأ هذا الضوء نتيجة لتأثر كارثة كونية ما ، أو انفجر النجم فجأة (وهو أمر كثيرا ما يحدث للنجوم) فسوف يكون علينا أن ننتظر أحد عشر عاما حتى يحمل اليها بريق الانفجار نبا اندثار هذا النجم حيث يختفى بعد ذلك من سمائنا .

وقد حسب بسبل من تلك المسافة التى قدرها أن هذا النجم الذى يظهر للعين أشبه بنقطة لامعة تتلألأ فى السماء ومن ورائه خلفية سوداء هى السماء فى فترة الليل هو فى الحقيقة نجما لامعا أصغر من الشمس فى الحجم بنسبة ٣٠٪ لا غير . وقد كان هذا أول البراهين التى أدت الى ظهور فكرة العالم الشهير « كوبرنيكس » فأحدث انقلابا فى علم الفلك حين قال ان الشمس ما هى الا نجم من عشرات الآلاف من النجوم المبعثرة على أبعاد هائلة فى فضاء لا حدود له .

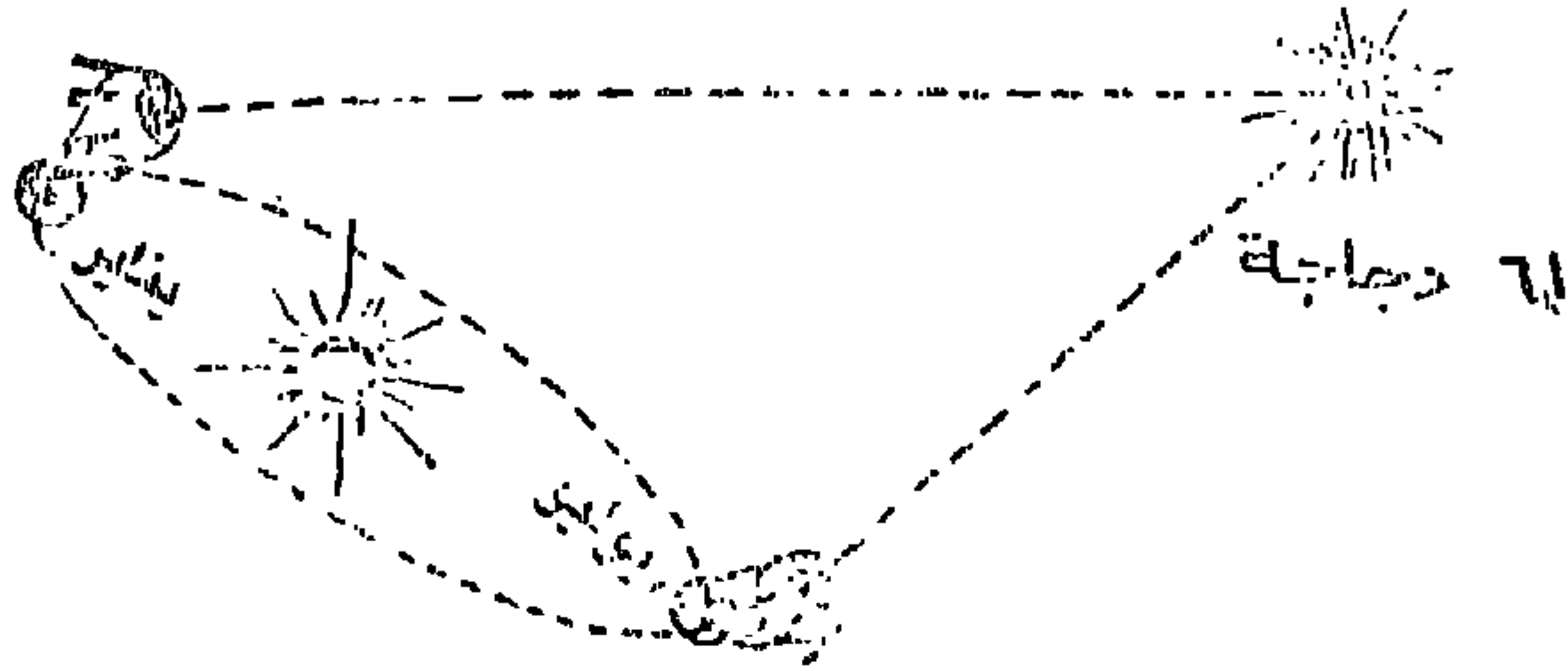
وبعد اكتشاف « بسبل » حدثت العديد من قياسات الازاحة المكانية للنجوم ، والقليل منها كان أقرب اليها من « دجاجة ٦١ » كما كان أقربها اليها قنطورس ألفا (**) (أكثر النجوم لمعانا فى كوكبة الجبار) ، حيث لا يبعد أكثر من ٤٣ سنة ضوئية . وهو قريب جدا من شمسنا فى الحجم واللمعان . وأغلب النجوم أبعد بكثير من ذلك الى درجة أنه حتى قطر مدار الأرض يصبح أقصر بكثير من أن يصلح كقاعدة بصرية لقياس بعدها .

(*) أول من نادى بهذه الفكرة هو العالم الشهير « كوبرنيكس » .

(**) Alpha Centauri نسبة الى حيوان القنطور الخرافي الذى يتألف من جواد

برأس وصدر رجل (المترجم)

وقد وجد أيضا أن النجوم تتباين كثيرا في أحجامها وشدة انضاءتها
 من نجوم عملاقة شديدة اللمعان مثل منكب الجوزاء (على بعد ٣٠٠ سنة
 ضوئية) ويبلغ حجمه ضعف حجم الشمس ٤٠٠ مرة وهو أشد
 لمعانا منها ب ٣٦٠٠ مرة ، الى نجوم باهتة متقزمة مثل نجم « فان مانن »
 (على بعد ١٣ سنة ضوئية ، وهو أصغر حجما من أرضنا (قطره يساوى
 ٧٥ في المائة من قطر الأرض) وضعوؤه أضعف من ضوء الشمس
 ب ١٠ ٠٠٠ مرة .



(شمسة راقم ١١٠)

والآن نأتى الى مشكلة هامة وهى حصر عدد النجوم وهناك اعتقاد
 شائع ربما كان اعتقادك أيضا ، وهو استحالة عد النجوم . ومع ذلك
 فان هذا الاعتقاد خاطئ ، تماما مثله مثل الكثير من الاعتقادات الشائعة
 وذلك على الأقل بالنسبة للنجوم التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة . والحق
 أن العدد الكلى للنجوم التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة فى نصفى الكرة
 الأرضية يتراوح بين ٦٠٠٠ و ٧٠٠٠ نجم فقط ، وحيث ان ما يعلو
 الأفق منها لا يزيد عن النصف فى أى وقت وحيث ان القدرة على رؤية
 النجوم القريبة من الأفق تتأثر كثيرا بالامنعاص الجوى ، فان عدد النجوم
 التى يمكن رؤيتها بالعين المجردة عادة لا يزيد عن ٢٠٠٠ نجم ، ولذا فاذا
 حاولت أن تعدها بهمة بمعدل نجم فى الثانية مثلا فلابد وأن تنتهى منها
 كلها فى حوالى ١/٢ ساعة ! .

واذا استخدمت نظارة الميدان تستطيع أن ترى ٥٠٠٠٠ نجم جديد ،
 ويمكنك أيضا بالاستعانة بتلسكوب ١/٢ بوصة أن ترى ٥٠ مليون نجم
 زيادة على ذلك . أما اذا استخدمت تلسكوب مرصد جبل ولسون الشهير
 (١٠٠ بوصة) فى كاليفورنيا فسوف تصبح قادرا على رؤية حوالى
 ١/٢ بليون نجم . ويحتاج الفلكيون فى عددها - بمعدل نجم فى الثانية كل
 يوم من الغسق حتى الفجر - الى قرن تقريبا قبل الانتهاء منها ! ولكن أحدا
 لم يحاول ذلك طبعا و لاحتى أقل منه . ويمكن حساب العدد الكلى للنجوم

بحصر النجوم المرئية فعلا فى عدد من المساحات الواقعة فى أماكن مختلفة من السماء ثم حساب المتوسط وضربه فى المساحة الكلية .

ومنذ ما يزيد عن قرن مضى بينما كان الفلكى البريطانى الشهير « ويليام هرشل » يراقب الفضاء النجمى باستخدام تلسكوبه الذى صنعه بنفسه ، فوجئ بأن أغلب النجوم التى تكون عادة غير ظاهرة للعين المجردة تظهر داخل حزام باهت يمر بعرض السماء ليلا ويعرف بدرب التبانة . وله أساسا يرجع الفضل فى اعتراف علم الفلك بأن درب التبانة ليس مجرد حزام سديمى عاد أو شريط من السحب الغازية التى تنتشر بعرض الفضاء ، ولكنه يتألف فى الحقيقة من عدد النجوم البعيدة جدا ومن ثم فانها تكون باهتة لدرجة أن عيوننا لا تتمكن من التعرف عليها منفصلة عن بعضها .

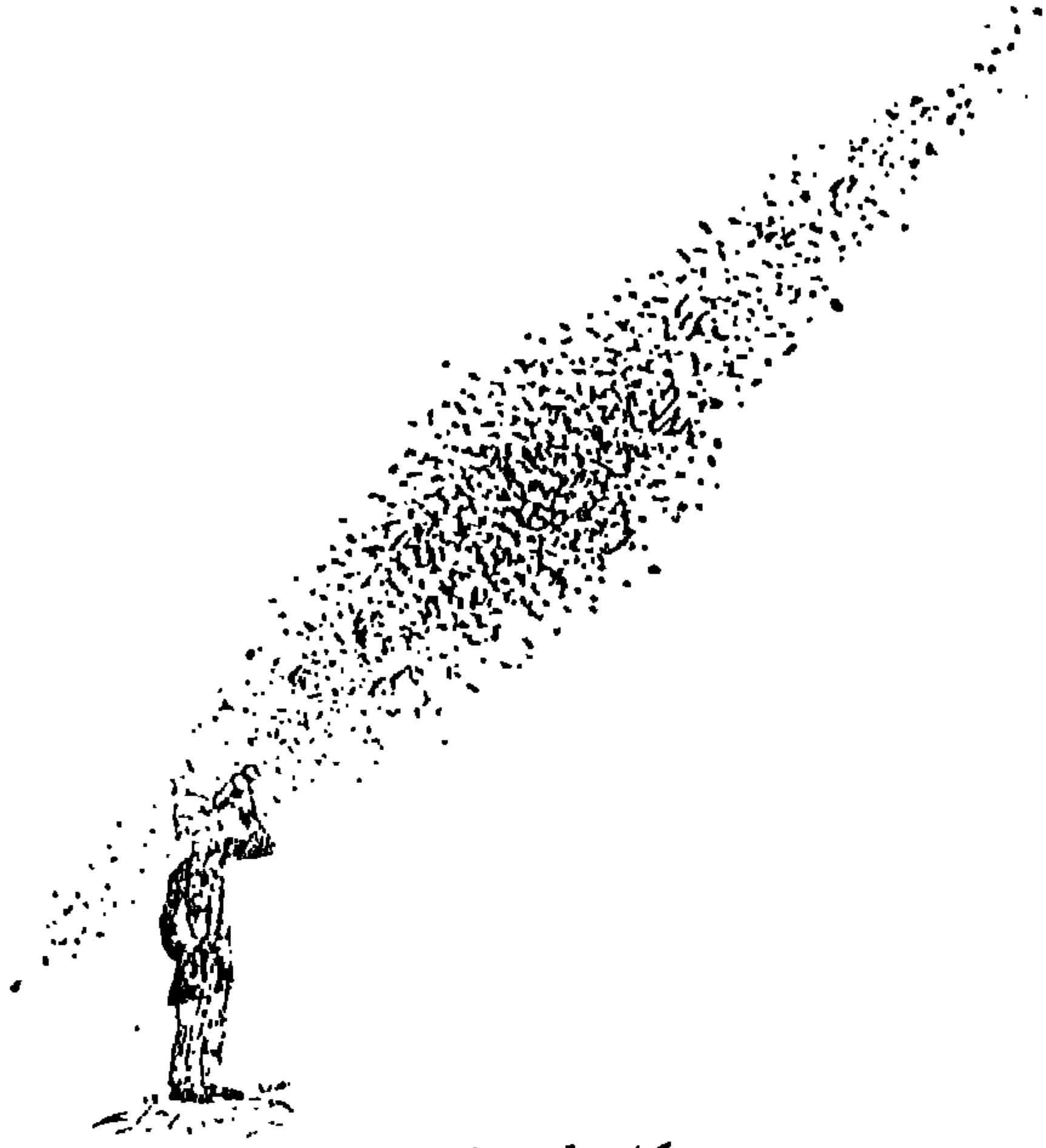
ومع الزيادة المستمرة فى قوة التلسكوبات المستخدمة زاد عدد النجوم التى أصبح بإمكاننا أن نراها فى درب التبانة كوحدات منفصلة ، ولكن التسواد الأعظم منها ما يزال مختفيا فى صورة خلفية ضبابية . ومع ذلك فمن الخطأ أن نعتقد أن النجوم موزعة فى درب التبانة بدرجة أكبر كثافة منها فى أى جزء آخر من السماء . والواقع أن العبرة فى مظهرها هذا ليست فى كثافة التوزيع النجمى لها ولكن فى عمق هذا التوزيع وهو ما يجعل من الممكن لنا رؤية ما يشبه عددا من النجوم أكبر من هذا العدد فى أى مكان آخر من السماء . وتنتشر النجوم على مرمى البصر (مع الاستعانة بالتلسكوب) فى اتجاه درب التبانة ، بينما فى أى اتجاه آخر لا يمتد وجود النجوم المرئية الى ما لا نهاية ولكننا نرى بعد هذه النجوم فضاء خاليا تقريبا .

وعندما ننظر الى درب التبانة فنحن أشبه بمن يرنو الى غابة كثيفة حيث تتداخل الأغصان النامية من الأشجار المختلفة لتكون خلفية متماسكة ، فنحن نرى مساحات من الفضاء الخالى فى غير هذه من المجرات ، تماما كما تظهر المساحات الزرقاء فى السماء ذات الزخرف من فوقنا .

لذا فان الكون النجمى الذى تعد شمسنا أحد أعضائه غير البارزين يحتل مساحة مسطحة من الفضاء ويمتد الى مسافة بعيدة فى مستوى درب التبانة ، بينما يكون أقل عمقا فى المستوى المتعامد عليه نسبيا .

وقد أدت الدراسات الأكثر تفصيلا على يد أجيال من علماء الفلك الى نتيجة مفادها أن الكون النجمى يتضمن حوالى 4×10^{10} نجما قائما بذاته ، وتوزع هذه النجوم على شكل عدسة يساوى قطرها حوالى ١٠٠ ٠٠٠ سنة ضوئية ، بينما يتراوح سمكها من ٥٠٠٠ الى ١٠٠٠٠ سنة ضوئية .

سنة ضوئية . وقد كان من نتائج هذه الدراسة الصفعة التي تلقاها وجه الانسان والصدمة التي نزلت بكبريائه حين عرف أن شمسنا ليست مركزا لهذا المجتمع النجمي اطلاقا ولكنها تكاد تكون واقعة على حدوده الخارجية .

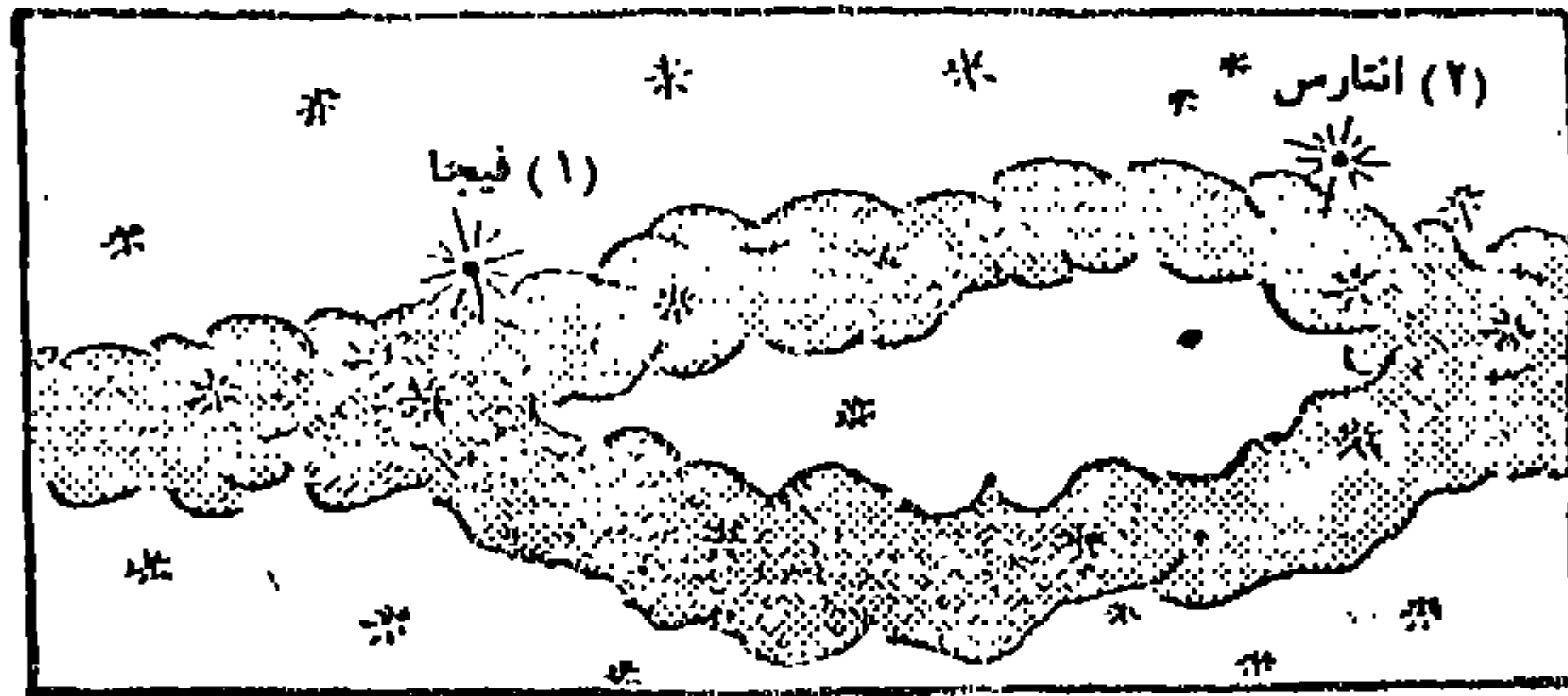


(شكل رقم ١١١)

عالم فلكي ننظر الى التوزيع النجمي لدرب التبانة مصغرا بمقدار ٢٠١٠ .
ويحتل رأس العالم تقريبا موقع شمسنا .

وفى شكل (١١١) حاولنا أن نقرب هذه الفكرة الى القارئ ليعرف الشكل الحقيقي لخلايا النجوم . وبالمناسبة لقد فاتنا أن نذكر أن درب التبانة يعرف فى اللغة العلمية بالمجرة Galaxy (وهى من اللغة اللاتينية بالطبع) . وقد رسمنا حجم المجرة فى هذا الشكل مختزلا بمعامل قدره ٢٠١٠ من حيث عدد النقاط التى تمثل النجوم المنفصلة حيث انها أقل فى الشكل من ٤ × ١٠١٠ بدرجة كبيرة وذلك لأسباب طوبوغرافية . ومن أهم الخواص المميزة لهذا الحشد الضخم من النجوم الذى يتكون منه النظام المجرى . حالة الدوران السريع الشبيهة بما يحدث فى نظامنا الكوكبى . وكما تتحرك الأرض وفينوس وعطارد وغيره من الكواكب فى مسارات دائرية تقريبا حول الشمس كذلك تتحرك بلايين النجوم التى يتكون منها نظام درب التبانة حول ما يعرف بمركز المجرة . ويوجد هذا

المركز في اتجاه كوكبة الرامي (٣) (برج القوس) والواقع أنك لو تتبعته الشكل الضبابي للمجرة عبر السماء ستلاحظ أنه يزداد اتساعاً كلما اقتربت. من هذه الكوكبة وهو ما يدل على أنك تنظر الى الجزء المركزي الأكثر سمكا من هذه الكتلة الشبيهة في الشكل بالعدسة (في شكل (١١١) ينظر صاحبنا في هذا الاتجاه) • فكيف يبدو مركز المجرة ؟ • مما يؤسف له أننا لا نعرف الرد على هذا السؤال حيث أنه محجوب عن أبصارنا بسحب ثقيلة داكنة من مادة نجمية معلقة في الفضاء • والحق أنك قد تظن عند النظر الى الجزء المتسع من الطريق السماوي الاسطوري ، أن هذا الطريق يتفرع الى حارتين من حارات المرور في اتجاه واحد • ولكن هذا ليس تفرعا فعليا إذ أن هذا الانطباع مرده الى السحب الداكنة ذات الغبار النجمي والغازات المعلقة في الفضاء في منتصف هذا الجزء المتسع بيننا وبين مركز المجرة ، لذا ففي حين أن القنامة الظاهرة على جانبي درب التبانة ترجع الى الخلفية القضاائية الداكنة ، فإن القنامة التي توجد في منتصف المجرة ترجع الى السحابة المعتمة الداكنة • والقليل من النجوم الموجودة في هذه البقعة المركزية يكون « أمامية » لها ويقع بيننا وبين السحابة (شكل ١١٢) •



(شكل رقم ١١٢)

إذا نظرنا نحو مركز المجرة سيبدو لنا لأول وهلة ان هذا الطريق الاسطوري السماوي يتفرع الى حارتين من حارات المرور باتجاه واحد •

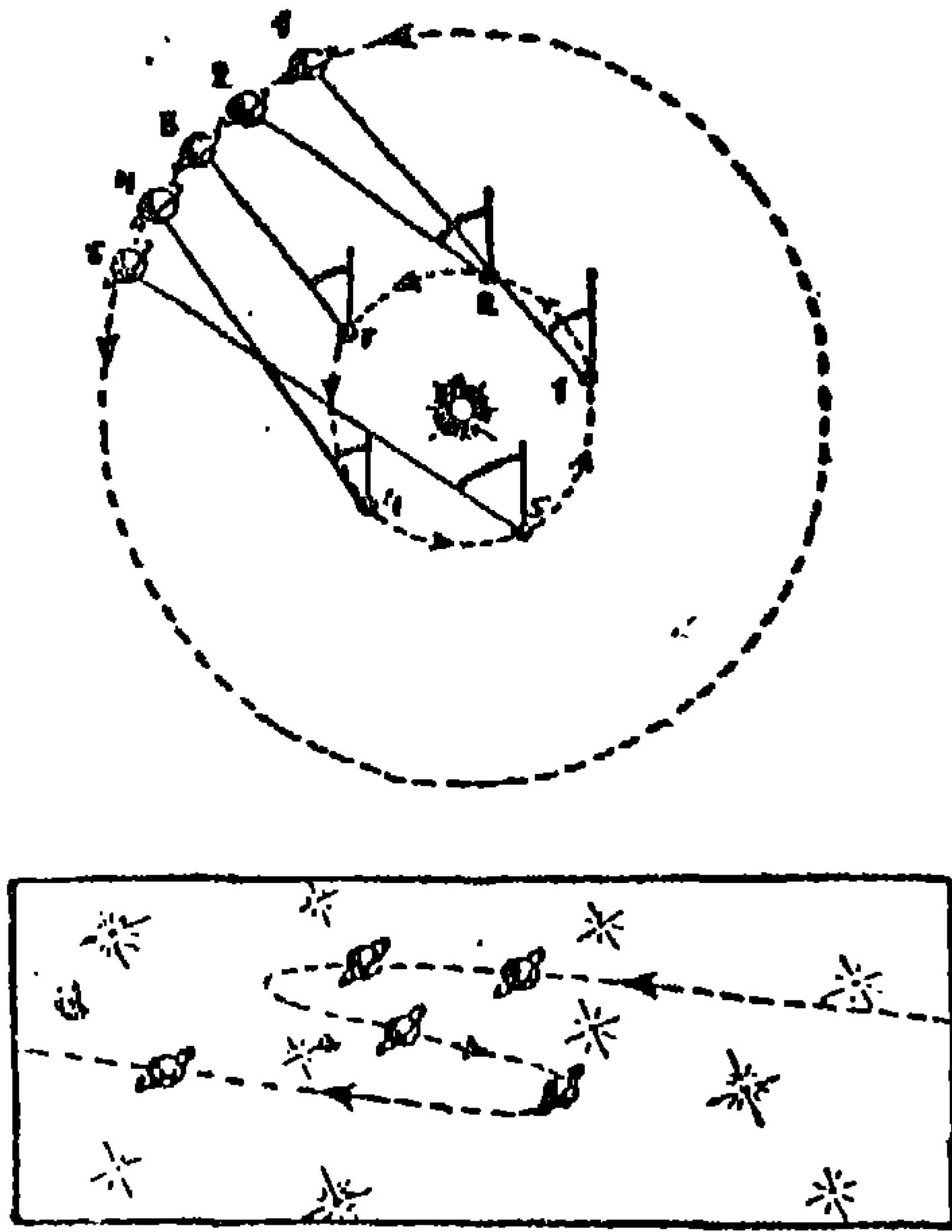
ومن المحزن بالطبع أننا عاجزون عن رؤية هذا المركز الغامض الذي تدور شمسنا حوله في حركة مغزلية من بين بلايين أخرى من الأنجم • ولكننا نعرف شكله من ناحية معينة ومن خلال مراقبة النظم النجمية أو المجرات المبعثرة في الفضاء بعيدا فيما وراء حدود درب التبانة • فهو ليس نجما مفرطا في عملقته يفرض على بقية أعضاء النظام النجمي التبعية كما تسود الشمس عائلة الكواكب • وتشير دراسة الأجزاء المجرية (التي ستعرض

(٣) أفضل رؤية « للرامي » (Sagittarius) تكون في ليلة صافية من ليالى الصيف

• الأول

لها فيما بعد) الى أنه يتكون من نجوم عديدة مع اختلاف واحد وهو أن النجوم هناك تكون أكثر ازدحاماً منها في أى جزء طرفى آخر مثل الجزء الذى تنتمى شمسنا اليه . فاذا شبهنا النظام الكوكبى بدولة أوتوقراطية(*) تحكم الشمس فيها الكواكب ، فان مجرة النجوم أقرب صلة الى النظام الديمقراطى الذى يحتل فيه بعض الأضياء مواقع مركزية حساسة فحين يبقى على الآخر من أن يرفوا بمراكز أكثر تواضعاً على أطراف نظامهم الاجتماعى .

وكما ذكرنا قبل نادر جميع النجوم بما فى ذلك شمسنا فى مدارات عملاقة حول مركز النظام المجرى . فكيف يمكن اثبات ذلك وما طول أنصاف أقطار هذه المدارات النجمية ، وكم تستغرق فى اتمام دورة كاملة ؟



(شكل رقم ١١٣)

لقد أجاب على هذه الأسئلة كلها منذ بضعة عقود العالم الفلكى الهولندى « أورت » الذى طبق ملاحظات على درب التبانة شبيهة للغاية بملاحظات « كوبرنك » على النظام الكوكبى .

وبادى ذى بدء دعونا نتذكر فكرة كوبرنيكس . ان القدماء مثل

(*) استبدادية .

البابليين والفراعنة وغيرهم قد لاحظوا أن الكواكب الكبيرة مثل المشترى وزحل تبدو حركتها في السماء غريبة نوعا . فكأنها تتحرك في مسار أشبه بالقطع الناقص كالشمس ، ثم تتوقف فجأة وتراجع وبعد استئناف الحركة ثانية تتابع السير في اتجاهها الأصلي . وقد رسمنا في الجزء الأسفل من شكل ١١٣ صورة تخطيطية لحركة زحل (يتم زحل دورته كاملة بعد ٢٩ عاما ونصف) . وحيث ان النزعة الدينية قد أملت على الناس في ذلك الوقت اعتقادا بأن الأرض هي مركز الكون ، وأن جميع الكواكب بل والشمس نفسها تدور حولها فقد فسرت هذه المسارات استنادا الى فرضية بأن مدارات هذه الكواكب تكون شاذة وبها عدد من المسارات المنحنية .

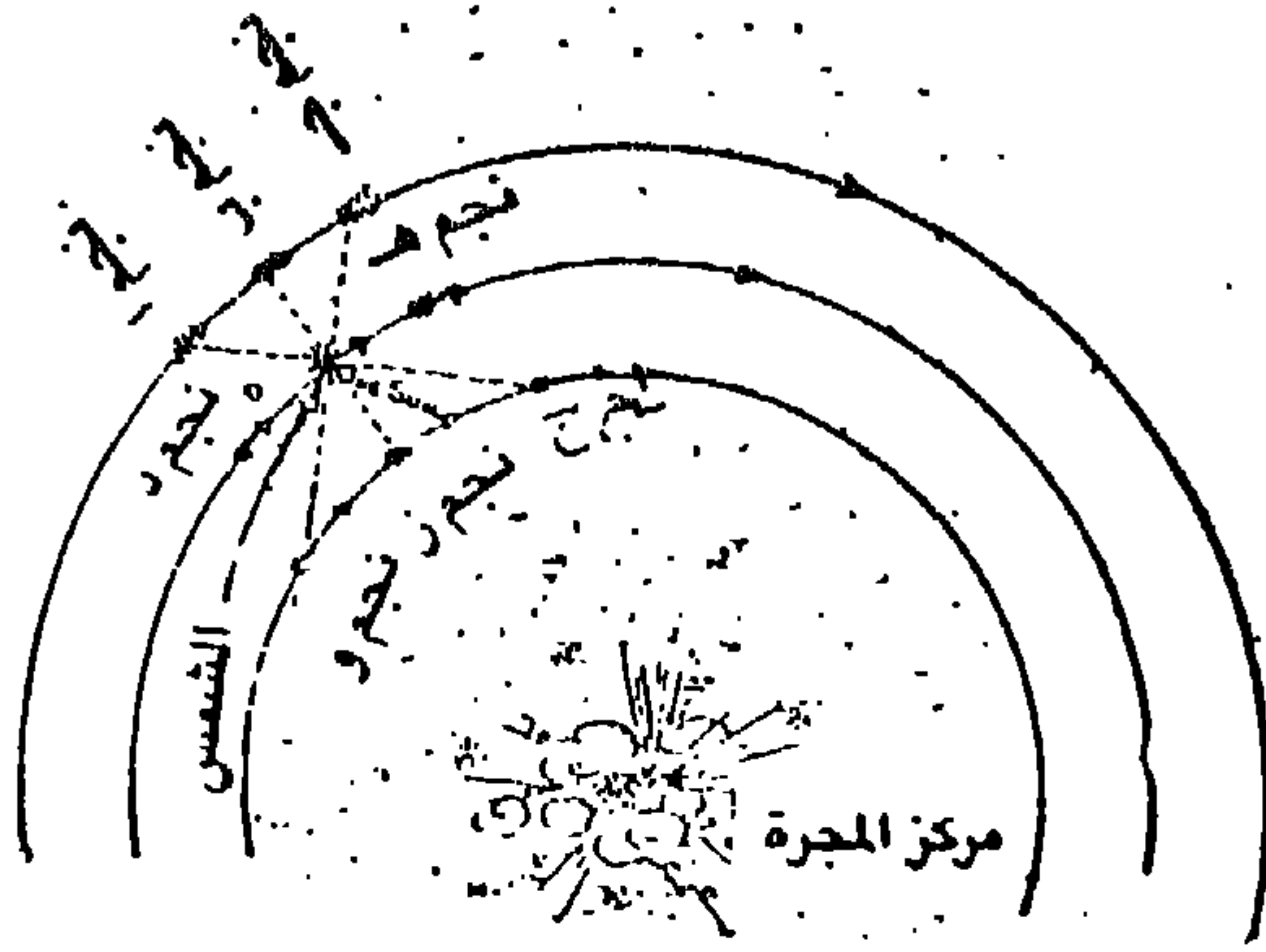
ولكن «كوبرنيكس» كان أفضل من ذلك علما فاستطاع بضربة عبقرية أن يفسر ظاهرة الانقلاب الغامضة على أساس من دوران الأرض مع غيرها من الكواكب على امتداد دوائر بسيطة حول الشمس . ومن الممكن فهم هذا الأثر الانقلابي بسهولة بعد دراسة الرسم التخطيطي الأعلى في شكل ١١٣ .

فالشمس هي المركز والأرض (الكرة الصغيرة) تتحرك في الدائرة الصغيرة وكوكب زحل (المحاط بالحلقة) يتحرك في دائرة أكثر اتساعا في نفس اتجاه الأرض . وتمثل الأرقام ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ مواضع مختلفة للأرض على مدار العام وما يقابلها من مواضع لزحل الذي يتحرك بمعدل أبطأ كثيرا كما نذكر .

أما الخطوط الرأسية المرسومة من الأماكن المختلفة للأرض فتمثل اتجاه نجم معين ثابت . وبرسم خطوط من المواضع الأرضية المختلفة الى ما يقابلها بالنسبة لزحل نجد أن الزاوية بين الاتجاهين (الى زحل وإلى النجم الثابت) تبدأ في الزيادة أولا ثم تتناقص بعد ذلك ثم تزداد . وهكذا فان ظاهرة الانحناءات لا تمثل أى غرابة أو شذوذ في حركة زحل ولكنها نتيجة لملاحظة هذه الحركة من زوايا مختلفة على الأرض المتحركة .

يمكننا أن نفهم نظرية أورت ORT حول دورة المجرة النجمية اذا نظرنا الى (شكل ١٤) حيث نرى في الجزء السفلي مركز المجرة (حيث توجد السحب السوداء ، وحوله الكثير من النجوم التي تغطي سطح الشكل بأكمله ، وتمثل الدوائر الثلاث أفلاكا على مسافات مختلفة من المركز ، الذي تمثله الشمس .

فلننظر فى نجوم ثمانية (ميزناهم عن غيرهم من النقط) ومنهم اثنان يتحركان على نفس فلك الشمس ، ولكن أحدهما يتقدمها قليلا والثانى يتأخر عنها قليلا ، وعلينا أن نتذكر أن قوانين الجاذبية (انظر الفصل الخامس) تزيد من سرعة النجوم الداخلية عن النجوم الكائنة على أفلاك شمسية وتقلل من سرعة النجوم الخارجية عنها (ونرى ذلك فى الشكل حيث استخدمت أسهم من أطوال مختلفة) .



(شكل رقم ١١٤)

كيف ستبدو لنا حركة هذه النجوم الثمانية اذا راقبناها من الشمس ، وكيف ستبدو من الأرض ؟ ونحن نتكلم هنا عن الحركة القائمة على امتداد خط الرؤية الذى يمكن لنا أن نراه بسهولة عن طريق ظاهرة دوبلر Doppler من الواضح أن النجمين (د . هـ) اللذين يتحركان على نفس الفلك بنفس سرعة الشمس سيبدوان ثابتين لمن يراها من الأرض أو من الشمس وينطبق نفس هذا على النجمين الآخرين (ب . ز) الواقعان على نصف القطر لأنهما يتحركان حركة موازية للشمس ومن ثم فلا تظهر سرعة كبيرة على خط البصر .

والآن ماذا عن النجمين (أ . ج) الواقعين على الدائرة الخارجية ؟ انهما يتحركان ببطء أكثر من الشمس كما لاحظنا وكما هو موضح فى هذه الصورة بحيث ان النجم (أ) يتحرك بسرعة أقل بينما النجم (ج) تسبقه الشمس والمسافة الى النجم (أ) ستزداد بينما ستتناقص المسافة الى النجم (ج) وسيبدو الضوء القادم من هذين النجمين أحمر وبنفسجيا على التوالي طبقا لظاهرة دوبلر . أما النجمان (و . ح) الواقعان على الدائرة الداخلية فسيكون الأمر لهما على عكس الأمر السابق أى أننا سنرى النجم (و)

بنفسجي أما النجم (ز) فسيكون أحمر طبقا لظاهرة دوبلر . ونرى من ذلك أن هذه الظاهرة التي وصفناها لتونا لا يمكن أن تحدث الا من جراء الحركة الدائرية للنجوم . ووجود هذه الحركة الدائرية يؤكد لنا هذا الرأي وكذلك يمكننا من حساب نصف قطر الأفلاك النجمية وسرعة الحركة النجمية ، وبتجميع هذه المعلومات عن الحركة الظاهرية للنجوم في السماء استطاع أورت أن يثبت أن الظاهرة المتوقعة لتأثير دوبلر الأحمر والبنفسجي ظاهرة موجودة في الواقع ومن ثم فقد أثبت دوران المجرة .

وعلى نحو مشابه يمكننا أن نثبت أن ظاهرة الدوران المجري (من المجرة) سوف تؤثر على السرعات الظاهرية للنجوم النمرودية على خط النسوء المسبب للرؤية . ورغم أن هذه السمة التي تتسم بها السرعة النجمية تنطوي على صعوبات أكبر أمام من يريد أن يقيس أبعاد النجوم بدقة (نظرا لأن السرعات الكبيرة الخطية للنجوم البعيدة تقابل مقادير صغيرة من الازاحة الزاوية على الدائرة السماوية) الا أن هذه الظاهرة قد لاحظها أورت وغيره .

وبفضل القياس الدقيق لظاهرة أورت (الحركة النجمية stellar motion) نستطيع الآن أن نقيس أفلاك النجوم ونحدد مدة الدوران ، وباستخدام هذا الأسلوب في الحساب اكتشفنا أن قطر الفلك الشمسي الذي يوجد مركزه في كوكبة القوس Sagittarius هو ٣٠.٠٠٠ سنة ضوئية أي ثلثا قطر الفلك الخارجي للمجموعة المجرية بأكملها ويقدر الوقت الذي تحتاجه الشمس لتقطع دورة كاملة حول مركز المجرة في ٢٠٠ مليون عاما تقريبا ؛ وانها لفترة طويلة بالطبع ولكن اذا علمنا أن نظامنا النجمي عمره حوالي ٥ × ٩١٠ عاما نجد أن الشمس وعائلتها قد أتموا ٢٠ دورة كاملة أثناء هذه الفترة . واذا كنا نطلق على فترة الدورة النجمية اسم « السنة الشمسية » قياسا على مصطلح السنة الأرضية نستطيع أن نقول أن عمر الكون لا يزيد عن ٢٠ عاما !! فالأحداث تمر ببطء في عالم النجوم ولذا فان السنة الشمسية تعتبر وحدة ملائمة لقياس الزمن في تاريخ الكون !

٣ - على أعتاب المجهول :

ان مجرتنا كما سبق وأشرنا ليست مجتمع النجوم الوحيد الذي يطوف فضاءات الكون الشاسعة ، اذ أن الدراسات التلسكوبية تكشف عن وجود مجموعات أخرى عملاقة ومشابهة على أبعاد شاسعة في الفضاء .

ويمكن رؤية أقربها وهي « سديم اندروميديا » (*) الشهير حتى بالعين المجردة . وهي تبدو لنا في شكل سديم باهت بيضاوى نوعا ما . وهناك اشارات كثيرة على أن هيكلنا النجمي ذاته حلزوني الشكل ولكن من الصعب أن نتحدد بنية ما عندما تكون باخفا . والحقيقة أن شمسنا في أغلب الظن تحتل دوقا متعارفا على أحد أذرع الحلزون المعروف بـ « سديم درب التبانة العلوي » .

وقد مر زمن طويل قبل أن يكشف علماءنا ان السدم الحلزونية هي نظم نجمية عملاقة شبيهة بدرب التبانة . وان هذه النظم قد حيرتهم بهذا الانتشار السديمي اذا دل ذلك على الجوزاء التي تعتبر أضخم السحب النجمية المتدلية بين النجوم في مجرتنا . وعلى أية حال وجد بعد ذلك أن هذه الأجسام الضبابية حلزونية الشكل ليست ضبابا على الإطلاق ، ولكنها نجوم منفصلة ترى وكأنها نقاط صغيرة عند استخدام أقوى درجات التكبير . ولكنها بعيدة جدا حتى لا يمكن تقدير بعدها بأى ازاحة مكانية .

ولذا ربما بدا لنا لأول وهلة أننا قد وصلنا الى نهاية المطاف في وسائل تقدر المسافات الكونية ، ولكن مهلا ! ففي العلم عندما نصطدم بمشكلة يصعب التغلب عليها فانما يكون ذلك عادة ارجاء مؤقت لها ، ويحدث دائما ما يسمح لنا بالمضي الى أبعد . وفي هذه الحالة تم اكتشاف مقياس جديد تماما بفضل عالم الفلك « هارلو شابلي » (من جامعة هارفارد) وتعرف هذه الأداة الجديدة باسم النجوم النابضة (أو قيفية) cepheids (٥) .

فهناك العديد من النجوم في السماء وفي حين أن بعضها متوهج باستمرار فان البعض الآخر يتأرجح دائما في قوة اضاءته بين اللامعان والانطفاء والعكس في دورات فضائية منتظمة . ان الأجسام العملاقة لهذه النجوم تنبض بشكل منتظم مثل ضربات القلب ومع هذه النبضات يحدث لها تغير دوري في الاضاءة (٦) . وكلما زاد حجم النجم كلما طالت

(*) كلمة لاتينية من اصل يوناني تعنى المرأة المسلسلة (المترجم) .

(٥) سميت هذه الطريقة بهذا الاسم لأن ظاهرة النبض اكتشفت بداية في النجم B. Cephei

(٦) يجب عدم الخلط بين هذه النجوم النابضة وبين ظاهرة كسوف النجوم الصغيرة التي تعد فعلا نظاما مكونا من نجمين يدوران حول بعضهما ويؤدي ذلك الى كسوف دوري من تأثير كل منهما على الآخر .

فترة نبضه تماما كالبنءول الذى يستغرق وقتا أطول فى حركته كلما كان أكثر طولا . أما النجوم الصغيرة (أى صغيرة بالنسبة لغيرها) ، فإن نبضها يتم على فترات قصيرة أو ساعات . بينما تستغرق النجوم العملاقة أعواما وأعواما حتى تصدر منها نبضة جديدة . والآن حيث ان النجوم الأضخم حجما هى فى الوقت ذاته الأشء اضاءة فهناك اذن علاقة واضحة بين فترة النبض النجمى والبريق المتوسط للنجم . ويمكن تحديد هذه العلاقة بملاحظة النجوم النابضة cepheids وهى قريبة منا بحيث يمكن قياس بعدها وبالتالى لمعانها الحقيقى مباشرة .

والآن اذا عثرت على نجم يخرج عن حدود الازاحة المكانية فما عليك الا أن تراقبه بالتلسكوب وتلاحظ الوقت الذى يستغرقه فى فترة نبضه . وبمعرفة هذه الفترة سوف تتمكن من تحديد لمعانه الفعلى وبمقارنته باللمعان الظاهرى تستطيع تحديد بعده . وقد استخدم « شابلى » هذه الطريقة البارة بنجاح فى قياس مسافات بعيدة لا سيما فى درب التبانة وأصبحت ذات نفع هائل فى تقدير الأبعاد العامة لنظامنا النجمى .

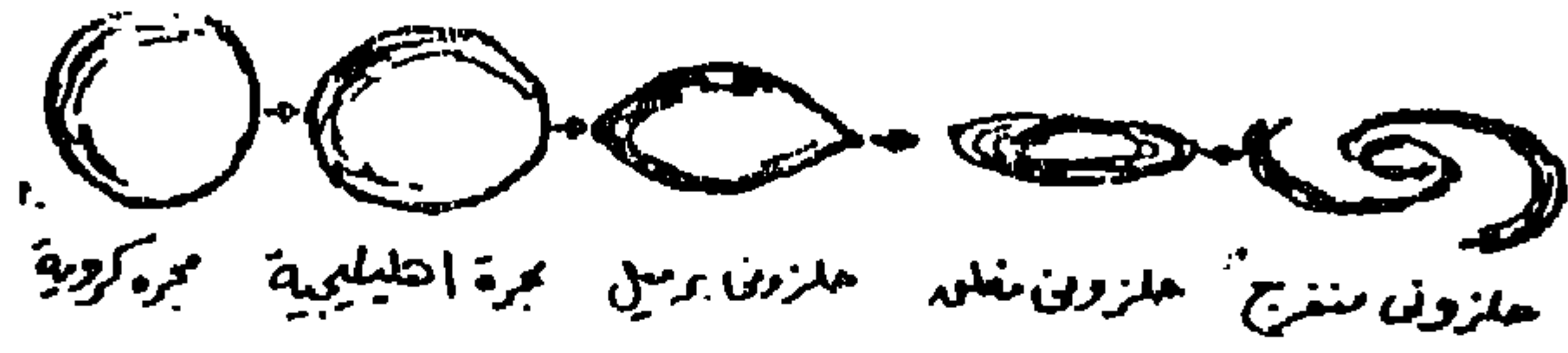
وعندما طبق شابلى نفس الطريقة فى قياس المسافات الى كثير من النجوم النابضة التى رصدها فى سديم « اندروميءا » العملاق فوجئ بشئ مذهل . فالمسافة من الأرض الى هذه النجوم وهى بالطبع نفس المسافة الى « اندروميءا » نفسه كانت حوالى ١٧ مليون سنة ضوئية وهذا أكثر بكثير من تقديرات قطر درب التبانة . كما أن حجم سديم أندروميءا ظهر أنه أصغر بقليل من كامل حجم مجرتنا .

ولا تزال السءم الحلزونية فى نظم أخرى مثل الدب الأكبر أبعد بكثير وأقطارها قريبة من قطر أندروميءا .

وقد كان هذا الاكتشاف بمثابة الضربة القاضية للفرضية القديمة التى كان مفادها أن السءم الحلزونية هى أجرام صغيرة نسبيا موجودة فى مجرتنا ، وأثبت أن هذه السءم هى مجرات مستقلة تشبه كثيرا مجرتنا . ولا يشك عالم فلكى واحد الآن فى أن درب التبانة سيبدو صغير الحجم جدا لعينى شخص يراقبه من على كوكب يدور حول أحد بلايين الشمس فى سديم أندروميءا ، كما كان هذا السديم يبدو لعيوننا .

ان الدراسات اللاحقة لهذه المجتمعات النجمية البعيدة ، والتى ندين بأغلبها للدكتور « هبل » العالم الشهير الذى عكف على دراسة المجرات ، تكشف لنا عن الكثير من الحقائق المثيرة والهامة . فقد اتضح أساسا أن هذه المجرات التى تكشف لنا التلسكوبات القوية منها ما لا ينكشف للعين

المجردة ليست بالضرورة حلزونية الشكل ولكنها متعددة الأنواع والأشكال الى حد كبير ، فهناك **المجرات الكروية** التي تشبه الأقراص العادية ولكنها ذات حواف غير منتظمة . وهناك **المجرات الاهليلجية** (بيضية الشكل) مع درجات مختلفة من الاستطالة بل ان المجرات الحلزونية ذاتها تختلف عن بعضها في « مدى احكامها » . كما أن هناك أيضا مجرات غريبة الشكل تعرف بـ « الحلزونات البرمائية » . وهناك حقيقة هامة بل بالغة الأهمية وهي أن كافة أنماط المجرات التي رصدت يمكن أن ترتب في تتابع منتظم (شكل ١١٥) وهذه المراحل تمثل اطوارا مختلفة في تكوين هذه المجتمعات النجمية العملاقة .



(شكل رقم ١١٥)

مراحل مختلفة للتكوين الطبيعي للمجموعات النجمية

وعلى الرغم من أننا لا نزال بعيدين عن فهم تفاصيل تطور المجرات الا أن هناك احتمالا قويا في أن يكون هذا التطور راجعا الى عملية التفاعل المستمر . فمن المعروف جيدا أنه عندما تحدث تفاعلات منتظمة في جسم غازي كروي بطيء الدوران ، يؤدي ذلك الى زيادة سرعة دورانه ، ويتحول شكله الى جسم بيضاوي مفلطح ، وعند مرحلة معينة من التشكيل عندما تصبح النسبة بين المسافة بين قطبيه من ناحية وخط الاستواء من ناحية أخرى مساوية لـ $\frac{1}{4}$ لا بد أن يتخذ الجسم الدوار شكلا محدبا (عدسي الشكل) سليما ، ولكن الغازات التي يتكون هذا الجسم تبدأ في الانسياب بعيدا في الفضاء المحيط على امتداد الحافة الاستوائية المحددة جيدا مما يؤدي الى تكوين ستار غازي في مستوى الاستواء .

وقد قدم العالم الفيزيائي الانجليزي والفلكي الشهير سير « جيمس جينز » البراهين الرياضية لكافة الحقائق السابقة بالنسبة لكرة غازية دوارة ، ولكنها تنطبق كذلك دون أي اختلاف على السحب النجمية العملاقة التي تسمى بالمجرات والحق أننا نستطيع النظر الى مثل هذا الحشد من بلايين النجوم باعتباره سربا من الغازات تقوم فيه النجوم مقام الجزيئات فتؤدي نفس الدور .

وبمقارنة الحسابات النظرية لجينز بتقسيم « هبل » العملى للمجرات نجد أن هذه المجموعات النجمية الضخمة تتبع تماماً مراحل التطور التى وصفتها النظرية . ونجد على وجه الخصوص أى أكثر السدم الاهليجية « البيضية » استطالة تعادل النسبة التى سبق أن ذكرناها وهى ٧ : ١٠ ، وأن هذه هى أول حالة نلاحظ فيها وجود خط استوائى حاد . أما الحلزونات التى تنشأ فى المراحل اللاحقة فى التطور فمن الواضح أنها تتكون من المادة التى تنطلق نتيجة سرعة الدوران . وذلك على الرغم من أننا حتى الآن لم نقف على تفسير كامل ومقنع للسبب والكيفية التى ينشأ بها الاختلاف بين الحلزونات البرميلية والبسيطة .

ولازال أمامنا الكثير لتعلمه من الدراسات المتقدمة للبنية ، والحركة ، والمحتوى النجمى فى الأجزاء المختلفة من مجتمع المجرة النجمى ، فلقد تم التوصل مثلاً الى نتيجة مثيرة جداً ، اذ استطاع فلكيى مرصد ويلسون و « باد » أن يكتشف أن الأجسام المركزية (النواة) للحلزون السديمى تتكون من نفس نوع نجوم المجرات الكروية والبيضية أما طرفا الحلزون فيتكونان من نوع مختلف من النجوم . ويختلف نوع نجوم طرفى الحلزون عن نجوم المنطقة المركزية بوجود نجوم ملتهبة ولامعة يطلق عليها « العماليق الزرقاء » وهذا النوع يختفى فى المجرات الكروية والبيضية كذلك . وحيث ان العماليق الزرقاء تمثل فى أغلب الظن أحدث النجوم تكويناً كما سنرى فيما بعد (فى الفصل الحادى عشر) فمن المنطقى اذن الافتراض بأن الأطراف الحلزونية هى اذا جاز القول معمل التفريخ لأفراد النجوم .

ويستطيع المرء أن يتخيل أن جزءاً كبيراً من المادة المقذوفة من الانتفاخ الاستوائى لمجرة بيضية متفاعلة يتشكل من الغازات الأولية التى تخرج الى الفضاء البارد فيما بين المجرات وتتكثف على هيئة كتل مادية ضخمة ومنفصلة تتحول من خلال تفاعلات متتابة الى أجسام ملتهبة ولامعة الى درجة هائلة .

وسنعود فى الفصل الحادى عشر مرة أخرى الى مشكلة ولادة النجم وحياته ، ولكننا نتوقف الآن بصفة عامة على توزيع المجرات المنفصلة عبر الفضاء الشاسع .

وهنا لابد من القول قبل كل شئ أن طريقة قياس المسافات التى تعتمد على النجوم النابضة تفشل كلما توغلنا فى أعماق الفضاء على الرغم من النتائج الممتازة التى نحصل عليها عند تطبيقها على المجرات القريبة

من درب التبانة ، ذلك أننا سرعان ما نصل الى أبعاد هائلة لا يمكن عندها تمييز النجوم عن بعضها وتصـبـح المجرات أشبه بالسدم البيضاوية .
مهما كانت قوة التلسكوب المستخدم فى رصدها . وفيما عدا هذه النقطة نستطيع الاعتماد على الحجم الظاهر للعين حيث انه من المفاهيم الراسخة الى حد كبير أن جميع المجرات أيا كان نوعها تتساوى فى الحجم تقريبا على خلاف النجوم .

فاذا علمت أن الناس جميعا متساوون فى الطول تقريبا ، ولا يوجد عمالقة أو أقزام فبمقدورك دائما أن تحدد بعد الرجل من الحجم الظاهر له .

وقد استطاع « هبل » باستخدام هذه الطريقة فى تقدير المسافات فى مملكة الفضاء المترامية الأطراف أن يثبت أن المجرات تنتشر فى هذه المملكة على نحو متجانس تقريبا وفقا لأبعد مجال للرؤية البصرية (المقواة باستخدام أعلى درجة من التكبير للمناظير الفلكية) .

وقد استخدمنا كلمة « تقريبا » لأنه فى حالات كثيرة تحتشد المجرات فى مجموعات ضخمة بالآلاف تماما كما تحتشد النجوم فى المجرات .

ان مجرتنا او درب التبانة هى كما يتضح لنا عضو واحد فى مجموعة صغيرة نسبيا من المجرات تضم فى عضويتها ثلاثة حلزونات (بما فى ذلك حلزوننا وسديم أندروميديا) ، وست مجرات بيضية ، وأربعة سدم شاذة الشكل (بما فى ذلك السحابتان الماجيلانيتان) (*) .

ومع ذلك ففيما عدا هذه التجمعات فإن المجرات كما ترى باستخدام تلسكوب مرصد « بالومر » (٢٠٠ بوصة) تتوزع فى نظام متجانس نوعا ما فى الفضاء حتى مسافة ٩١٠ سنة ضوئية . ويعتبر متوسط المسافة بين مجرتين متجاورتين حوالى ٥ ملايين سنة ضوئية . كما أن آفاق الكون المرئية تحتوى على عدة ملايين من العوالم النجمية المنفصلة ! .

ونعود مرة أخرى الى التشبيه القديم حيث كان مبنى الامبايرستيت مثلا بخلية بكتيرية ، والأرض بحبة بازلاء . والشمس كنمرة القرع فنضيف اليه المجرات التى تشبه حشدا عملاقا من ملايين ثمار القرع التى تتوزع تقريبا فى مدار المشترى بينما تتوزع مجموعات هذه الثمرة على شكل

(*) مجرتان تفعان على مستوى ٢٥ من القطب الجنوبي للكون وينبعث منهما ضوء متوهج غير واضح المعالم (المترجم) .

كروى ذى قطر أقصر قليلا من بعد أقرب النجوم اليينا . نعم من الصعوبة بمكان أن تحدد نسبة قياسات ثلاثم الأبعاد الكونية ولذلك فحتى بعد أن شبهنا الأرض بحبة بازلاء لا يزال الكون المعروف فلكيا فى أبعاده !! وقد حاولنا فى شكل ١١٦ أن نعطيك فكرة عن تطور استكشاف الكون خطوة خطوة على يدى علماء الفلك . فمن الأرض الى القمر الى الشمس الى النجوم الى المجرات البعيدة الى المجهول .

والآن نحن معدون للإجابة على هذا السؤال الأساسى الخاص بحجم الكون . فهل نعتبر الكون ممتدا الى ما لا نهاية ونستنتج أن تطور قوة ونوعية التلسكوبات سوف تكشف لعين الفلكى المتسائل دائما عن مناطق جديدة فى الفضاء كانت مجهولة فيما سبق ، أم أن علينا أن نؤمن بالعكس وأن الكون يحتل حجما كبيرا جدا ولكنه محدود وأن من الممكن استكشافه ، على الأقل من حيث المبدأ ، حتى آخر نجم ؟ .

اننا عندما نتحدث عن « محدودية الكون » لا نعنى بالطبع أن هناك على بعد ملايين السنين الضوئية سيوجد مستكشف الفضاء سورا أبيض عليه لافتة « ممنوع الدخول » .

فالواقع أننا قد بينا فى الفصل الثالث أن الفضاء يمكن أن يكون محدودا دون أن تحده خطوط نهائية . ويمكن ببساطة أن يلتف و « ينغلق على نفسه » بحيث اننا لو تصورنا مستكشفا للفضاء يحاول توجيه صاروخه فى خط مستقيم بقدر الامكان سوف يسير فى خط « جيوديسى » ثم يعود مرة أخرى الى النقطة التى بدأ منها .

وهذه الحالة بالطبع تشبه تماما حالة مستكشف اغريقى قديم يسافر غربا من أثينا مسقط رأسه وبعد رحلة طويلة يجد نفسه أمام البوابة الشرقية للمدينة .

وكما يمكن اثبات تقوس سطح الأرض دون حاجة الى الطواف حول العالم ، والاكتفاء بدراسة هندسية لجزء صغير منها نسبيا - نستطيع الإجابة على التساؤل الخاص بتقوس الفضاء الثلاثى الأبعاد لهذا الكون باستخدام قياسات مماثلة تدخل فى نطاق الرؤية بالتلسكوبات المتاحة . وقد رأينا فى الفصل الخامس أن بمقدور المرء أن يفرق بين نمطين من أنماط الانحناء :

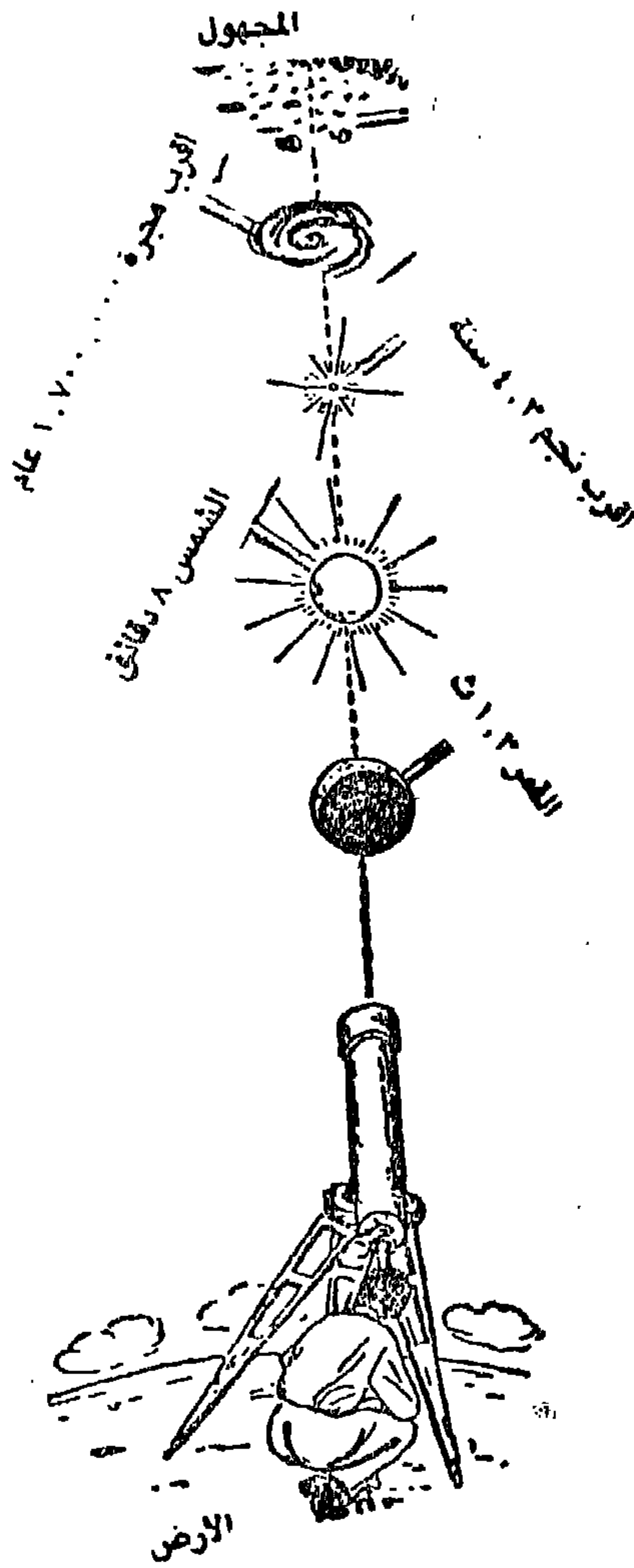
الانحناء الموجب الذى يقابله الفضاء المغلق محدود الحجم ، والانحناء السالب الذى يمكن تشبيهه بالفضاء المفتوح اللانهائى الذى مثلناه بالسرج (راجع شكل ٤٢) . ويمكن الفارق بين هذين النوعين من الفضاء فى الحقيقة التى مؤداها أنه فى حين أن الأجسام المتجانسة التوزيع فى الفضاء المغلق على مسافة معينة من المشاهد يكون معدل تزايدها أقل من مكعب هذه المسافة ، فإن العكس هو الصحيح فى الفضاء المفتوح .

وتقوم المجرات المنفصلة عن بعضها فى كوننا بدور « الأجسام المتجانسة التوزيع » لذا فما علينا الا أن نحاول حل مشكلة الانحناء الكونى عن طريق حصر عدد المجرات القائمة بذاتها والواقعة على مسافات مختلفة منا .

ولقد قام « هبل » بذلك بالفعل واكتشف أن عدد المجرات يميل الى التزايد بمعدل أقل نوعا ما من مكعب المسافة ، مما يدل على الانحناء الموجب ومحدودية الكون . ومع ذلك يجب ملاحظة أن هذا الأثر الذى وجده « هبل » ضئيل جدا ولا يصبح ملحوظا الا عند الاقتراب من حد المسافة التى يمكن رصدها من خلال تلسكوب ١٠٠ بوصة . كما أن تلسكوب ويلسون وما أمكن التوصل اليه من ملاحظات باستخدام العاكس الجديد (٢٠٠ بوصة) المركب على جبل بالومر ، كل هذا لم يلق ضوءا جديدا على هذه المشكلة الهامة .

وهناك نقطة أخرى تلقى ظلالة من الشك حول الاجابة النهائية عن قضية محدودية الكون وهى أن المجرات الضاربة فى أعماق الفضاء لا يمكن تحديد بعدها الا بالاعتماد على لمعانها الظاهر لا غير (قانون التربيع العكسى) . ومع ذلك فان هذه الطريقة التى تفترض أن كل المجرات على قدر متساو من اللمعان ربما تؤدى الى نتائج خاطئة اذا كان لمعان كل مجرة على حدة يتغير مع الزمن ومن ثم فانه يتوقف على عمر المجرة . وحري بنا أن نتذكر أن تلسكوب جبل بالومر لا يصل مداه الى أبعد من بليون سنة ضوئية ومن ثم فان النجوم تظهر لنا على الصورة التى كانت عليها منذ بليون سنة مضت . فاذا كان لمعان المجرات ينطفىء مع الزمن (ربما بسبب نقص عدد الأجسام النجمية النشطة ، فهى أعضاء فى المجرة ، نتيجة لاندثارها) فلا بد إذن أن النتيجة التى وصل اليها « هبل » صحيحة . والواقع أن التغير فى قوة لمعان المجرات بنسبة مئوية بسيطة

على مدى بليون عام (لا تزيد هذه الفترة عن $\frac{1}{4}$ العمر الكلى لها) قد يعكس الاستنتاج الحاضر بأن الكون محدود .



شكل رقم (١١٦)

أهم المحطات في استكشاف الكون معبرا عن المسافة بينهما بالسنين الضوئية

وهكذا نرى أنه مازال أمامنا الكثير حتى نتيقن مما إذا كان الكون محدودا أم لا نهائيا .

الفصل العادى عشر

أيام الخلق

١ - مولد الكوكب :

يعتبر تعبير « الأرض الصلبة » بالنسبة لنا نحن سكان الأرض بقاراتها السبع بما فيها القطب الجنوبي تعبيرا مرادفا من الناحية العملية للاستقرار والحدود . ولا يعنى ذلك لنا الا أن ملامح سطح الأرض المألوفة بقاراتها ومحيطاتها وجبالها وأنهارها قديمة قدم الزمن أو تكاد . والحق أن المعلومات الخاصة بالتاريخ الجيولوجى تدل على أن وجه الأرض يتغير باستمرار تدريجيا ، وأن المساحات الشاسعة للقارات قد تغمرها المياه الآتية من المحيطات فى حين أن مناطق أخرى كانت مطمورة فيما سبق قد تتحول الى يابسة وتبرز الى السطح .

كما نعرف أيضا أن الجبال القديمة تتعرض للتآكل تدريجيا بفعل ماء المطر بينما تظهر سلاسل جديدة ، من وقت الى آخر نتيجة للنشاط التكتونى (*) ، ولكن جميع هذه التغيرات لا تزيد عن كونها حادثة فى قشرة كرتنا الأرضية .

ومع ذلك يمكننا بسهولة أن نفهم أنه قد مر على الأرض دهر لم تكن القشرة فيه واقعا موجودا ، وأن الأرض كانت كتلة متوهجة من الصخور المنصهرة . والواقع أن دراسة باطن الأرض تدل على أن أغلبها لا يزال

(*) ما يفرا على الأرض من تشوهات والكلمة لاتينية حديثة مأخوذة من الكلمة

اليونانية Tektonikos (المترجم) .

فى حالة منصهرة ، وأن الأرض الصلبة التى كثيرا ما نتحدث عنها ليست الا طبقة رقيقة تعلو كتلة المجما المنصهرة وأسهل الطرق للوصول الى هذه النتيجة هو أن نتذكر أن قياسات درجات الحرارة على أعماق مختلفة تحت القشرة الأرضية تزيد بمعدل ٣٠ درجة مئوية لكل كيلومتر عمق (أو ١٦° فهرنهيت لكل ١٠٠٠ قدم) لذا فإن الجدران فى أعماق منجم فى العالم (منجم ذهب فى روبنسون ديب بجنوب أفريقيا) تبلغ من السخونة حدا اضطر المسئولين عنه الى تزويده بأجهزة تكييف الهواء حتى لا يشوى العمال وهم أحياء .

وبهذا المعدل لارتفاع الحرارة لابد أن تصل الصخور الى نقطة الانصهار (بين ١٢٠٠° مئوية و ١٨٠٠° مئوية) فى عمق لا يزيد عن ٥٠ كم تحت سطح الأرض . أى أقل من ١٪ من المسافة الكلية بين سطح هذه الأرض ومركزها . ولابد أن كل المواد الموجودة فى أعماق أبعد وهى تمثل ما يزيد عن ٩٧ فى المائة من كتلة الأرض فى حالة انصهار كامل .

ومن الواضح أن هذه الحالة لا يمكن أن تستمر الى الأبد واننا مازلنا نراقب مرحلة معينة فى عملية البرودة التدريجية التى بدأت ذات يوم حين كانت الأرض كتلة منصهرة بالكامل ، وأنها سوف تنتهى يوما ما فى المستقبل البعيد (بتجمد الأرض كلها من القشرة حتى المركز) . والتقدير التقريبى للفترة التى استغرقتها القشرة الأرضية فى التجمد والتصلب يدل على أن هذه العملية قد بدأت منذ عدة بلايين من السنين .

ويمكن الوصول الى نفس الرقم عند تقدير عمر الصخور التى تتكون القشرة الأرضية منها . وعلى الرغم من أن الصخور لا تنطق باختلاف ما فى ملامحها لأول وهلة مما أدى الى ظهور تعبير مثل « جامد كالصخر » فإن الكثير منها يحتوى فعلا على نوع من الصخور الطبيعية التى تكشف لعين الجيولوجى المتمرس عن الفترة التى مرت من وصولها الى حالة التصلب الى الآن .

ان هذه الساعة الجيولوجية التى تحسب العمر تتمثل فى كمية ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم الذى كثيرا ما يوجد فى الصخور المختلفة المأخوذة من على السطح ومن الأعماق البعيدة للأرض . وكما رأينا فى الفصل السابع فإن ذرات هذه العناصر تخضع لانحلال اشعاعى تلقائى ينتهى بتكوين عنصر الرصاص المستقر .

وحتى نحدد عمر الصخرة المحتوية على العناصر المشعة فاننا لا نحتاج الا الى قياس كمية الرصاص التى تراكمت على مر القرون نتيجة للتحلل الاشعاعى .

والواقع أنه طالما كانت مادة الصخرة فى حالة منصهرة فمن الممكن أن تتحرك نواتج الانحلال الاشعاعى من مكانها الأصيل باستمرار نتيجة لعملية الانتشار والحمل الحرارى فى المادة المنصهرة . ولكن ما أن تتصلب المادة متحولة الى صخرة فان ترسب الرصاص بجانب العنصر المشع لابد وأن يبدأ ، وتعطينا كميته فكرة دقيقة عن طول المدة التى استمر فيها الاشعاع بنفس الأسلوب الذى يعرف به الجاسوس من عدد علب البيرة الفارغة الملقاة بين النخيل الفترة التى أقامتها حامية من السفن المعادية على جزيرة محيطية .

ومن الأبحاث الحديثة التى تستخدم التقنيات المتطورة لقياس ترسبات نظائر الرصاص فى الصخرة بدقة ، ونواتج التحلل للنظائر الكيميائية الأخرى غير المستقرة مثل راديوم ٨٧ وبوتاسيوم ٤٠ - قدر العلماء أن أقصى عمر لأقدم صخرة عثر عليها هو حوالى $\frac{4}{3}$ بليون عام ومن ذلك نستنتج أن القشرة الصلبة للأرض قد نشأت عن مادة كانت منصهرة قبل حوالى خمسة بلايين عام .

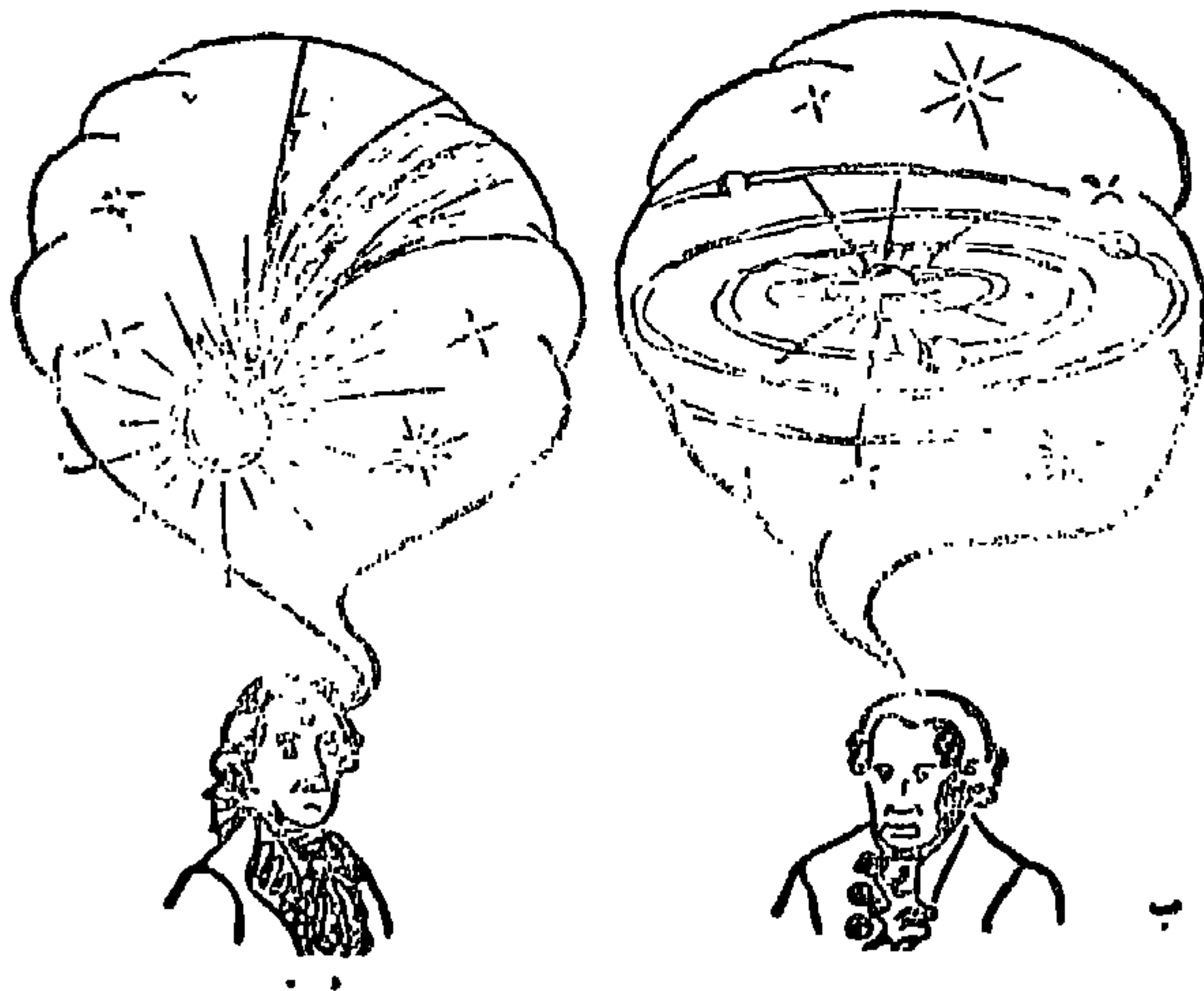
لذا نستطيع أن نتخيل الأرض من خمسة بلايين سنة على شكل كرة منصهرة بالكامل ومحاطة بطبقة سميكة من غلاف جوى به بخار الماء وربما كان محتويا على عناصر أخرى شديدة التطاير .

فكيف خرجت هذه الكتلة الساخنة من المادة الكونية الى عالم الوجود ؟ وما هى القوى المسئولة عن تكونها ؟ ومن الذى أمدّها بمادة بنائها ؟ .

ان هذه التساؤلات الخاصة بنشأة كرتنا الأرضية وكذا غيرها من كواكب نظامنا الشمسى كانت دائما من التساؤلات الأساسية فى علم « الكوزموجونى » (نظرية نشأة الكون) واللغز الذى شغل عقول علماء الفلك لعدة قرون .

وقد أتت أولى المحاولات فى الإجابة على هذه الأسئلة باستخدام الوسائل العلمية عام ١٧٤٩ على يدى العالم الفرنسى الطبيعى الشهير « جورج لويس لافريك » كونت دى بوفن فى واحد من مجادلاته الأربعة والأربعين فى مؤلفه التاريخ الطبيعى . وقد رأى هذا العالم أن أصل النظام الشمسى يرجع الى حدوث اصطدام بين الشمس ومذنب أتى من أعماق الفضاء النجمى . وقد رسم بخياله صورة حية لـ « المذنب القاتل » بذيل لامع طويل (يكنس) سطع الشمس الوحيدة آنذاك ويرسل منها عددا من « القذرات » الصغيرة فى الفضاء فتتحرك بشكل مغزلى تحت تأثير قوة الصدمة (شكل ١١٧) .

وبعد ذلك بأعوام قلائل ظهرت آراء مختلفة بالكامل عن أصل نظامنا الشمسى على يدى الفيلسوف الألمانى المشهور « ايمانويل كانت » ، الذى كان أشد ميلا الى التفكير فى أن الشمس قد صنعت نظام الكواكب التابع لها من تلقاء نفسها دون أى تدخل من الأجرام . وقد تصور « كانت » المرحلة الأولى من عمر الشمس عملاقا باردا نسبيا على هيئة كتلة من الغازات التى تشغل كل حيز نظام الكواكب الحالى وتدور ببطء حول محورها . ولابد أن التبريد المستمر للكرة نتيجة لاشعاعها فى الفضاء المحيط قد أدى الى تفاعل تدريجى وزيادة مقابلة فى سرعة دورانها . وقد رأى أيضا أن القوى الطاردة المركزية الناشئة عن هذا الدوران لابد أنها كانت سببا فى التسوية المستمرة للجسم البدائى للشمس الغازية ، كما أدت الى تكوين حلقات غازية متسعة حول خطها الاستوائى (شكل ١٧ب) . وهذه العملية أى تكوين الحلقات من كتل دوارة يمكن تشبيهها بالتجربة الكلاسيكية التى قام بها أفلاطون وفيها تبدأ كرة كبيرة من الزيت (وليس الغاز كما فى حالة الشمس) المعلق فى سائل له نفس كثافته فى تكوين حلقات من الزيت من حولها اذا ما تعرضت للدوران باستخدام جهاز ميكانيكى مساعد ، وزاد معدل دورانها عن درجة معينة . والحلقات التى تتكون بهذه الطريقة يفترض أنها تتحلل بعد ذلك ، ثم تتكشف على شكل كواكب تدور على مسافات مختلفة حول الشمس .



فرضية بوفن

فرضية كانت

شكل رقم (١١٧)

الدهبان الفكريان فى علم نشأة الكون

وفيما بعد تبنى العالم الفرنسى الكبير « بييرسيمون » ماركيز دى لابلاس ، هذه الآراء وطورها وقسمها للناس فى كتابه « تفسير نظام الكون » الذى صدر ١٧٩٦ . وعلى الرغم من أن « دى لابلاس » كان عالما رياضيا

عظيما فانه لم يحاول معالجة هذه الأفكار رياضيا ، ولكنه اكتفى بالمناقشة
الكيفية شبه المألوفة لهذه النظرية .

ولكن عندما بدأت أول معالجة رياضية لآراء « كانت » الكونية بعد
ذلك بستين عاما على يدى الفيزيقي الانجليزى « كليرك ماكسويل »
اصطدم الرجل بمائة لا يمكن تخطيه يتشكك فيها وجده من تناقض .
والواقع لقد تبين أنه ان كانت المادة المركزة حاليا فى كواكب النظام
الشمسى المختلفة قد توزعت فى الفضاء الكلى توزيعا متجانسا أى الفضاء
الذى تحتله المجموعة الآن لكانت رقيقة جدا بحيث تعجز قوى الجذب عن
تجميعها على هيئة كواكب منفصلة . ومن ثم فان الحائات التى تنبعث من
الشمس المتعانة ستبقى كما هى الى الأبد مثل حلقات « زحل » التى تكون
كما هو معروف من عدد لا يحصى من الجزيئات الصغيرة التى تسير فى مدار
دائري حول هذا الكوكب ولا يظهر عليها أى ميل « للتخثر » لتكون تابعا
والابدا مصابا

بالمخرج الوحيد من هذه المشكلة كان يكمن فى الافتراض أن الغلاف
الأصلى للشمس يحتوى على مادة أكثر مما نجد فى الكواكب الآن (بمائة
ضعف على الأقل) ، وأن أغاب هذه المادة سقطت على الشمس تاركة حوالى
١٪ فقط منها لتكون أجسام الكواكب .

ولكن هذا الافتراض يؤدى مع ذلك الى تناقض لا يقل عن سابقه
خطورة . فلو أن مادة بهذا الكم سقطت على الشمس (ولا بد أيضا أنها
كانت تدور بنفس سرعة الكواكب الآن) فسوف تؤدى حتما الى اكساب
الشمس سرعة زاوية أكثر ب ٥٠٠٠ من سرعتها الحالية . ولو كان الأمر
كذلك لتحركت الشمس مغزليا بسرعة ٧ دورات فى الساعة بدلا من دورة
واحدة كل أربعة أسابيع تقريبا .

ويبدو أن هذه الاعتبارات قد أودت بآراء « كانت لابلاس » ، ولكن
عيون علماء الفلك لم تهدأ ولم تياس حتى عادت نظرية « بوفن » الى الحياة
مرة أخرى بفضل العالم الأمريكى « ت.س. تشامبرلين » ومواطنه
« ف. ر. مولتون » والعالم الانجليزى سير « جيمس جينز » الشهير .
وقد أدخلت تعديلات كثيرة بالطبع على آراء بوفن نتيجة للتطور الذى طرأ
على المعارف الأساسية بعد ظهورها فقد استبعد الاعتقاد بأن الجسم الكونى
الذى اصطدم مع الشمس كان مذنباً بعد أن اكتشفوا أن أى مذنب يكون
صغير الحجم جدا حتى بالقياس الى القمر . ولذا فقد حل مكانه اعتقاد بأن
نجما آخرى قريبا فى حجبته وكتلته من الشمس هو الذى قام بهذا
الدور .

ورغم ذلك فإن النظرية الجديدة التى ظنوا فى ذلك الوقت أنها المخرج الوحيد من المشكلات الأساسية فى فرضية لابلاس لم تلبث أن وجدت نفسها تتعثر أيضا . فقد كان من الصعوبة بمكان أن تفهم السبب الذى يجعل شظايا الشمس المتناثرة من جراء الصدمة العنيفة تدور فى نفس تتخذ الكواكب تقريبا بدلا من أن تتبع مسارات بيضاوية مستطيلة .

وانقاذا للأمر كان لابد من افتراض أن الشمس كانت محاطة بغلاف غازى متجانس عندما تكونت هذه الكواكب مما ساعد على تحويل المدارات المستطيلة الى دوائر منتظمة . ولما كان هذا الوسط غير موجود الآن فى الأجزاء التى تحتلها الكواكب فقد افترضوا أن هذه الغازات قد تسربت بالتدريج الى الفضاء النجمى بعد ذلك ، وأن اللمعان الخافت المعروف بضوء « الزودياك » الذى ينبعث الآن من الشمس فى مستوى دورانها ، هو كل ما تبقى من ذلك المجد العريق . ولكن هذا المزيج من فرضية « لابلاس » عن الغلاف الغازى الأصيل وفرضية « بوفن » عن الصدام لم يكن مرضيا أبدا . ولكن كما يقول المثل « أمران أحلاهما مر فاختر أفضاهما » ، وبالتالي فقد قبلوا فرضية « بوفن » عن الصدام باعتبارها الأصح وظلت سائدة ومستخدمة فى كافة المراجع والأدب المنتشر (بما فى ذلك كتابان للمؤلف وهما مولد ووفاة الشمس ١٩٤٠ وقصة الأرض طبعة منقحة عام ١٩٥٩ للطبعة الأولى عام ١٩٤١) .

ولم تحل عقدة نظرية الكواكب الا فى خريف عام ١٩٤٣ على يدى الفيزيائى الألمانى الشاب « س . فيتس تسيكر » باستعمال معلومات جديدة ظهرت حديثا بفضل الأبحاث الفلكية الفيزيائية فنجح فى أن يبين أن كافة الاعتراضات القديمة على فرضية « لابلاس » يمكن الرد عليها بسهولة ، ومن هذا المنطلق يمكن وضع نظرية مفصلة عن أصل الكواكب تفسر كثيرا من الملامح الهامة للنظام الكوكبى التى لم يسبق أن تعرضت لها أى نظرية قديمة .

وكان أهم ما اعتمد عليه « فيتس تسيكر » الحقيقة التى مفادها أن الأفكار التى تربعت على عقول الفلكيين فى العقدين السابقين بالنسبة لمادة الكون الكيميائية قد تغيرت تماما . إذ كان من المعتقد بصفة عامة قبل ذلك أن الشمس وغيرها من الكواكب قد تكونت بنفس النسبة من العناصر الكيساوية التى كونت مادة الأرض . والتحليل الجغرافى الكيميائى يعلمنا أن جسم الأرض يتكون بصفة أساسية من عنصر الأكسجين (فى صورة أكاسيد عناصر مختلفة) ، السيليكون والحديد وعناصر أخرى أثقل .

أما الغازات الخفيفة مثل (الهيدروجين والنيون والأرجون . . الخ) فتوجد على الأرض بكميات ضئيلة (١) .

ولما عجز العلماء عن الحصول على دليل أفضل فقد افترضوا أن هذه الغازات نادرة أيضا على الشمس والكواكب الأخرى . ورغم ذلك فإن دراسة أكثر تفصيلا أدت بالعالم الفلكي الدانماركي « ب . ستروجرين » إلى استنتاج خطأ هذه النظرة تماما ، فالشمس مثلا تحتوى كتلتها على ٣٥٪ من الهيدروجين النقي (غير متحد بعناصر أخرى) . ثم ارتفع هذا التقدير بعد ذلك إلى أكثر من ٥٠٪ ، كما وجد أيضا أن الهليوم يمثل نسبة كبيرة من مكونات النجوم الأخرى وقد أدت الدراسات النظرية للجزء الداخلي في النجوم والتي توجتها حديثا الدراسة الهامة لـ « م . سكوارز شيلد » والتحليل الطيفي الميكروسكوبى الدقيق لسطحها إلى نتيجة مذهلة وهى : **أن العناصر الكيميائية الشائعة التى تدخل فى تركيب الأرض لا تزيد نسبتها عن ١٪ من كتلة الشمس أما بقية كتلته فتتوزع بالتساوى تقريبا بين الهيدروجين والهليوم حيث يزيد الأول بدرجة طفيفة عن الأخير .** وواضح أن هذا التحليل يناسب أيضا النجوم الأخرى .

وعلاوة على ذلك من المعروف الآن أن الفضاء النجمى ليس خاليا تماما ولكنه ممتلئ بخليط من الغاز والغبار الدقيق بمتوسط كثافة ١ مجم تقريبا من المادة لكل مليون ميل مكعب من الفضاء ، وهذا التوزيع ، أى المادة المخلخلة إلى حد كبير جدا يماثل الشمس وغيرها من النجوم من حيث التركيب الكيميائى .

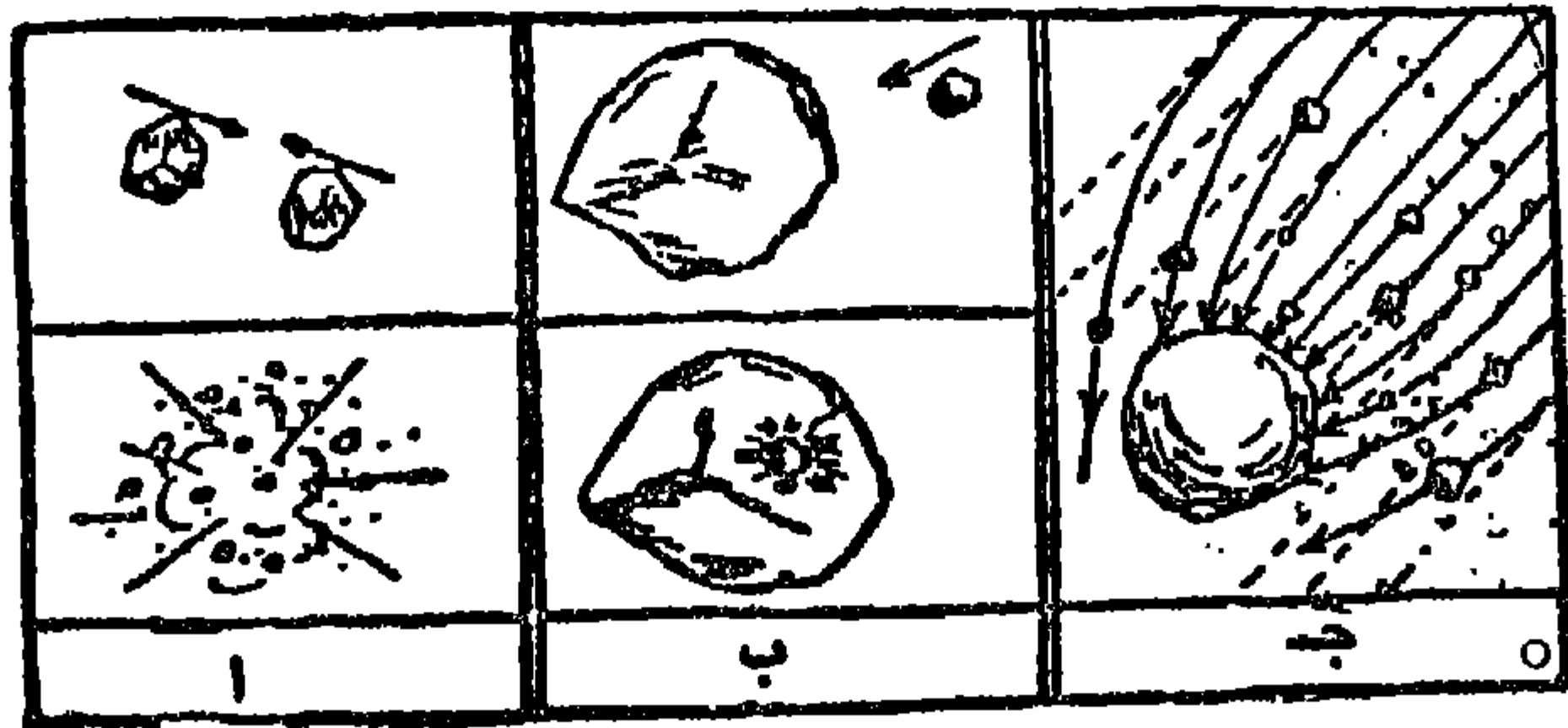
وعلى الرغم من هذه الكثافة المنخفضة إلى حد رهيب إلا أنه من الممكن إقامة الدليل بسهولة على وجود المادة بين النجمية إذ أنها تقوم بامتصاص نوعى ملحوظ للنضوء الآتى من النجوم البعيدة عنا بمئات الآلاف من السنين الضوئية . وتسمح لنا كثافة وموقع « خطوط الامتصاص بين النجمية » هذه بالحصول على تقدير دقيق لكثافة المادة وانتشارها ، كما يتضح منها أن هذه المادة لا تحتوى إلا على الهيدروجين وربما الهليوم لا أكثر . والحقيقة أن الغبار المكون من جزيئات صغيرة (قطرها حوالى ٠.٠١ ر ملم) من مواد « أرضية » مختلفة لا تزيد عن ١٪ من كتلتها الكلية .

ونعود إلى الفكرة الأساسية فى نظرية « فيتس تسيكر » ونستطيع أن نقول أن معرفة التركيب الكيميائى لمادة الكون تلعب دورا رئيسيا

(١) أغلب الهيدروجين الموجود على الأرض يكون محدا مع الأكسجين فى صورة ماء . ولكننا جميعا نعرف أن الماء رغم أنه يغطى ثلاثة أرباع مساحة سطح الكرة الأرضية ولكن كتلته الكلية تعتبر قليلة بالقياس إلى كتلة الأرض .

على مسرح فرضية لابلاس . اذ لو كان الغلاف الغازى للشمس ناشئ أصلا عن هذه المادة لكانت النسبة الصالحة منه - من العناصر الأرضية الثقيلة - لتكوين الأرض وغيرها من الكواكب ضئيلة جدا . أما بقية العناصر مثل الهليوم والهيدروجين الشاذين فلا بد أنها قد تسربت بطريقة ما سواء بالوقوع فى الشمس أو الانتشار فى الفضاء النجمى المحيط . وحيث ان الاحتمال الأول يعنى كما ذكرنا من قبل أن سرعة الدوران المحورية للشمس لابد وأن تزيد بدرجة رهيبه ، فليس بوسعنا الا قبول الاحتمال الثانى وهو أن « الزائد » من المواد الغازية قد انتشر فى الفضاء بعد أن تكونت الكواكب من مركبات أرضية .

وهذا ينتقل بنا الى صورة جديدة (شكل ١١٨) عن تكوين النظام الكوكبى . فعندما خلقت الشمس من تكثف المادة بين النجمية (انظر الجزء اللاحق) ظل جزء كبير منها ربما كان يفوق كتلة الكواكب الحالية مجتمعة بمائة مرة ، ظل هذا الجزء فى مكانه على السطح الخارجى لها كغلاف دوار عملاق . (والسبب فى ذلك السلوك يظهر بسهولة فى الفارق بين حالات الدوران لمختلف أجزاء الغازات بين النجمية فى الشمس البدائية) . ويجب أن نتصور أن هذا الغلاف السريع الدوران يتكون من غايات غير قابلة للتكثف (الهيدروجين ، والهليوم ، وقليل من الغازات الأخرى) هذا بالإضافة الى جزيئات غبار من مختلف المواد الأرضية (مثل أكاسيد الحديد ومركبات السليكون ، وقطرات الماء ، وبلورات الثلج) التى كانت محمولة على الغاز ومن ثم فقد اتبعت الحركة الدورانية له والراجع أن تكوين هذه الكتل « الأرضية » فى مادتها والتى نطلق عليها الآن الكواكب قد حدث نتيجة مصادمات بين جسيمات الغبار ونموها التدريجى حتى وصلت الى هذه الأحجام الضخمة . وفى (شكل ١١٨) تصور لنتيجة هذه الصدمات المتبادلة التى يرجح حدوثها عند سرعات قريبة من سرعة النيازك .



(شكل رقم ١١٨)

ومن المنطقي اذن أن نستنتج أن هذه السرعات سوف تؤدي عند الصدام بين جسيمين متساويين تقريبا في الكتلة الى أن يسحق كل منهما الآخر (شكل ١١٨ أ) وهذا من شأنه ألا يؤدي الى النمو ولكن بالأحرى الى تدمير كتل أكبر من هذه الجسيمات . ومن ناحية أخرى عندما يصطدم جسيم صغير مع آخر أكبر منه (شكل ١١٨ ب) فمن البديهي أنه سوف يندفن نفسه فيه وبالتالي تزيد كتلة هذا الأخير .

ومن الواضح أن هاتين العمليتين سوف تؤديان تدريجيا الى اختفاء الجسيمات الصغيرة ، ونمو الجسيمات الأخرى من نفس المادة . ثم تزيد سرعة العمالة في المراحل الأخيرة وذلك لأن الأجسام الكبيرة ستجذب الأصغر منها عند مرورها بها لتضيف كتلتها اليها (شكل ١١٨ ج) . ويتضح من الشكل أن كفاءة الأجسام الكبيرة في أسر غيرها تزيد الى حد كبير .

وقد استطاع « فيتس تسيكر » أن يشرح لنا أن الغبار الدقيق الذي كان مبعثرا في المنطقة التي تحتلها الكواكب الآن لابد أنه المستعمل عن تكوين هذه الكتل الضخمة وهي الكواكب في حوالي ١٠٠ مليون عام تقريبا .

الكوكب	بعده عن الشمس بالنسبة لبعده الأرض عنها	نسبة بعده كل كوكب عن الشمس بالنسبة الكوكب السابق
عطارد	٣٨٧	
فينوس	٧٢٣	١٨٦
الأرض	١٠٠٠٠	١٣٨
المريخ	١٥٢٤	١٥٢
الكويكبات (*)	٢٧ تقريبا	١٧٧
المشتري	٥٢٥٣	١١٢
زحل	٩٥٣٩	١٨٣
اورانوس	١٩١٩١	٢٠٠١
نبتون	٣٠٠٧	١٥٦
بلوتو	٣٩٥٢	١٣١

(*) اجرام شبيهة بكواكب سيارة (المترجم) .

ولا بد أن قذف الكواكب باستمرار بقطع مختلفة الأحجام من المواد الكونية أثناء دورانها حول الشمس قد أدى إلى سخونة سطحها جدا . وبمجرد انتهاء الغبار النجمي والحصى والصخور الضخمة توقفت عملية النمو في الكواكب ، ويرجع أن الإشعاع المستمر في الفضاء النجمي قد أدى إلى سرعة تبريد الطبقات الخارجية للأجرام السماوية (الكواكب) ، ومن ثم ظهرت القشرة الصلبة التي تزداد سمكا يوما بعد يوم نتيجة للتبريد التدريجي المستمر لباطن الأرض .

والنقطة التالية في الأهمية والتي لم تتوان نظرية في أصل الكواكب عن اقتحامها هي هذه القاعدة الغربية (المعروفة بقاعدة تيتوس بود) (*) والتي تحكم المسافات بين الكواكب المختلفة والشمس وترى في الجدول الموجود في صفحة ٢٩٦ نسعة كواكب من النظام الشمسي بالإضافة إلى الحزام الكوكباني الذي يمثل بوضوح حالة استثنائية لم تتجمع فيها القطع المنفصلة في كتلة واحدة مفردة .

وهناك أهمية خاصة للأرقام الموجودة في العمود الأخير ، فعلى الرغم من بعض الفروق فيما بينها إلا أنه من الواضح أنها تدور كلها في فلك الرقم (٢) وهو ما يسمح لنا بصياغة هذه امقاعدة التقريبية : ان نصف قطر أي مدار كوكبي يقترب من ضعفي مثيله بالنسبة لأقرب كوكب إليه في اتجاه الشمس .

اسم التابع	المسافة بالنسبة لنصف قطر	نسبة الزيادة بين مسافتين متاليتين
ميموس Mimas	٣١١	
انكلادس Enceladus	٣٩٩	١٥٢٨
تيثيز Tethys	٤٩٤	١٥٢٤
دايون Dione	٦٣٣	١٥٢٨
ريا Rhea	٨٨٤	١٥٢٩
تيتان Titan	٢٠٤٨	٢٥٣١
هيبريون Hyperion	٢٤٥٨٢	١٥٢١
جيبيتوس Japetus	٥٩٦٨	٢٥٤٠
فوبيي phoebe	٢١٦٨	٣٥٦٣

ومن المثير أن هناك قاعدة شبيهة بذلك تنطبق على توابع الكواكب ،
ففي الجدول السابق نستطيع أن نؤكد هذه الحقيقة عن مسافات توابع
زحل التسعة .

فكما في الكواكب نجد أنفسنا هنا أمام فروق واسعة جدا (ولا سيما
بالنسبة لقويبي !) ولكن - مرة ثانية - نجد نظاما محددا من نفس النوع
يربط بين هذه المسافات .

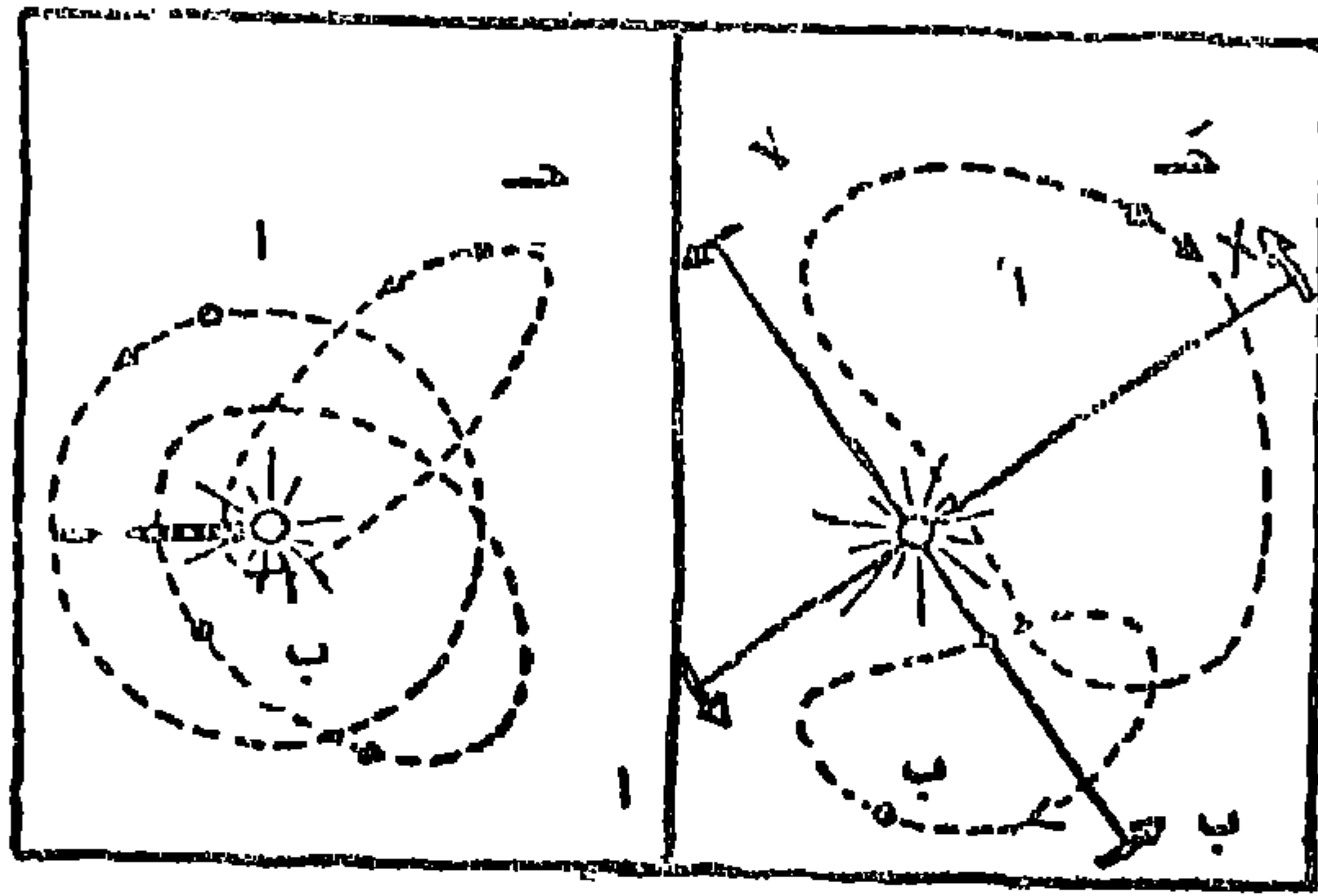
والآن بم نفسر أن عملية التراكم النسي حدثت في سحب الغبار
المحيطة بالشمس لم تسفر - وهذا أولى - عن كوكب ضخم واحد لا غير ،
وما الذي جعل هذه الكتلة الضخمة تتكون على هذه المسافات بالذات ؟ .

وللاجابة على هذا السؤال لابد من القاء نظرة أكثر تفصيلا على
التحركات التي تمت في السحب الغبارية الأصلية ، وينبغي أن نتذكر
أولا أن كل جسم مادي - سواء كان ذرة دقيقة من الغبار ، أو نيزكا
صغيرا ، أو كوكبا ضخما - يتحرك حول الشمس وفقا لقوانين نيوتن في
الحركة لابد وأن يتبع مسارا بيضاويا تكون الشمس بؤرته . فإذا كانت
المادة المكونة للكواكب أصلا على هيئة جسيمات منفصلة لنقل مثلا أن
قطرها يساوي ٠٠٠١ سم (٢) فلا بد أن عددها لن يقل عن ٤١٠ جسيم
تقريبا تتحرك في مدارات بيضاوية مختلفة الأحجام والاستطالات . من
الواضح الآن أنه في مثل هذا المرور المزدحم لابد من حدوث كثير من
حوادث الصدام ونتيجة لذلك فمن المرجح أن هذه الحوادث قد أدت إلى
حدوث نوع ما من التنظيم في هذا الحشد ككل . وليس من الصعب أن
تدرك أن هذه المصادمات قد عملت أما على سحق « المخالفين » وأما إجبارهم
على « الانعطاف » إلى « حارات مرور » أقل ازدحاما . فما هي القوانين
التي قد تحكم مثل هذا « النظام » أو على الأقل هذا « المرور » المنظم
جزئيا ؟ .

وليكن مدخلنا الأول إلى هذه المشكلة اختيار مجموعة من الجسيمات التي
تساوت في زمن دورانها حول الشمس . والبعض منها كان يتحرك في
مدار دائري يناسب نصف قطره مع فترة الدوران ، في حين كان البعض
الآخر يتخذ مدارات بيضاوية مختلفة الاتساع والاستطالة (شكل ١١٩ أ)
والآن سنحاول وصف حركة هذه الجسيمات المختلفة بالنسبة لمحورين
متعامدين (ز ، ي) مركزهما الشمس وسرعة دورانهما تساوي سرعة
دوران الجسيمات نفسها .

(٢) وهو تقريبا حجم ذرات الغبار في المادة بين النجمية .

ويتضح أولا باستخدام هذا النظام أن الجسيمات المتحركة في مدار دائري (أ) ستظهر كما لو كانت ساكنة تماما في نقطة معينة أ . كما أن الجسم ب الذي كان يدور حول الشمس في حركة بيضاوية يقترب ويبتعد عن الشمس وفي الحالة الأولى تزداد سرعته الزاوية بينما تنخفض في الحالة الثانية ، وبالتالي سوف يتحرك هذا الجسيم أحيانا أمام النظام المحوري (ز ، ي) ويتخلف وراءه في أحيان أخرى . ومن اليسير أن نرى من وجهة نظر هذا النظام - أن الجسيم سيقترب مسارا مناسبا يشبه بحبة الفول (ب في الرسم) . ويبقى الجسيم (ج) وهو الذي كان يتحرك في مدار بيضاوي أكثر استطالة وسوف يرى من هذا النظام (ز ، ي) على نفس الشكل وان كانت حبة الفول هنا أكبر (ج) .



(شكل رقم ١١٩)

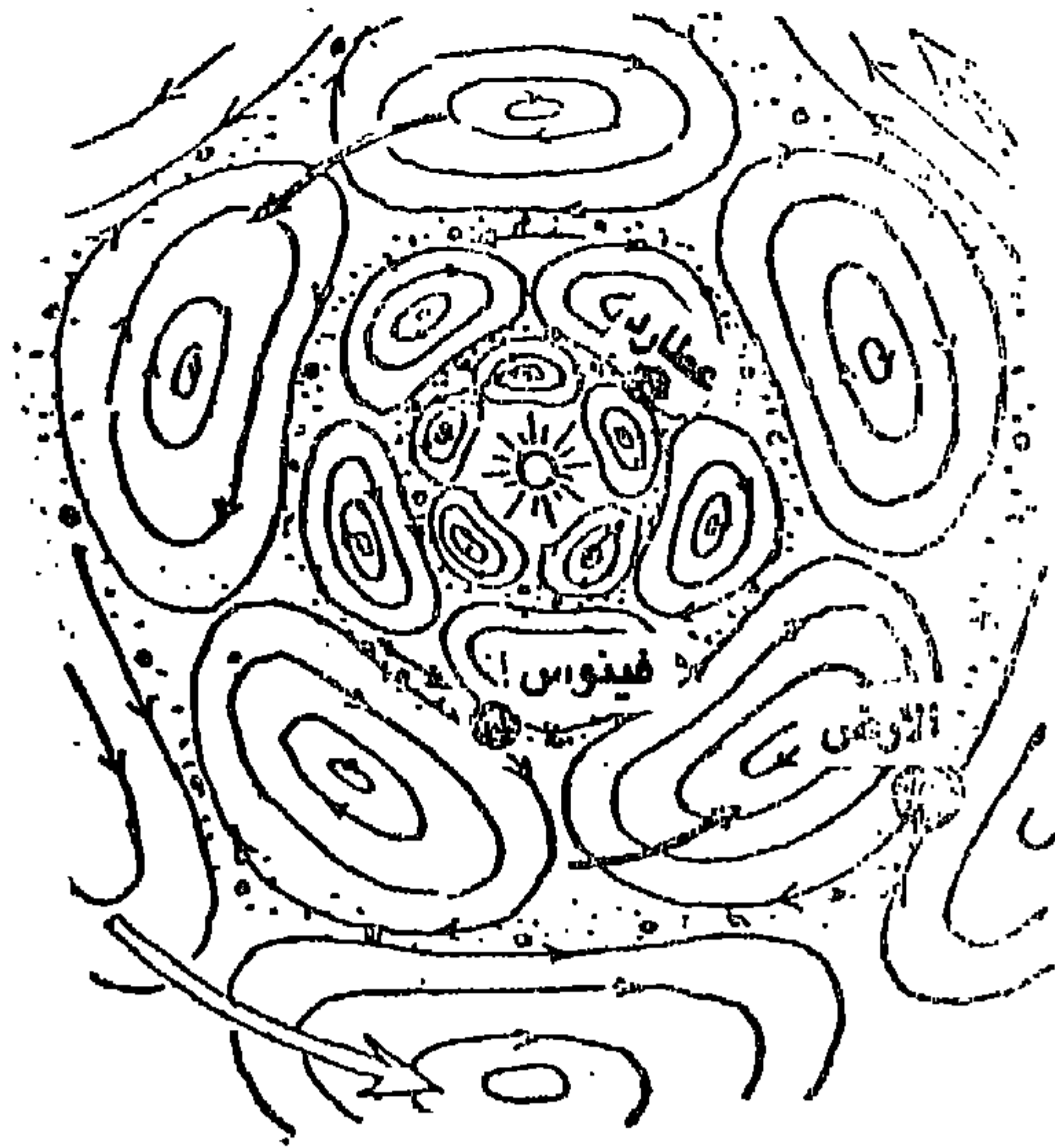
الحركة الدائرية والبيضاوية بالنسبة لنظام محوري ثابت (أ) ونظام محوري دوار (ب) .

ومن الواضح أننا لو أردنا ترتيب حركة هذه الحشود من الجسيمات بأكملها بحيث يستحيل حدوث صدام بينها فلا بد أن يتم ذلك بحيث يمتنع التقاطع بين هذه المسارات الفولية في هذا النظام المحوري المنتظم الدوران (ز ، ي) .

فاذا تذكرنا أن زمن الدوران لهذه الجسيمات حول الشمس واحد مما يجعل متوسط بعدها عن الشمس واحدا سنجد أن هذا النمط غير المتداخل لمساراتها في نظام (ز ، ي) يشبه « عقدا من الفول » يطوق عنق الشمس .

والهدف من التحليل السابق الذي ربما كان صعبا الى حد كبير على القارئ ، وان كان من حيث المبدأ تصورا بسيطا الى حد كبير أيضا ، هو ايضاح نوع التواعد المرورية التي تحول دون التقاطع بين مجموعات

الجسيمات التي تدور على نفس البعد المتوسط حول الشمس ، وهي من ثم تستغرق نفس الزمن في الدوران . ولكن لما كان متوقعا تواجده في سحابة الغبار الأصلية التي كانت تحيط بالشمس في بادئ عهدها بكل المسافات المتوسطة ، وما يقابلها من سرعات في الدوران فالحالة هنا أكثر تعقيدا بكثير . فبدلا من « عقد فول » واحد هناك لا شك عدد كبير من هذه « العقود » التي تدور بسرعات مختلفة بالنسبة لبعضها البعض . وبالتحليل الواعي نجح « فينوس تسيكر » في أن يثبت أنه لكي يستقر هذا النظام لابد أن يحتوى كل « عقد » منفصل على خمسة نظم منفصلة وبالتالي تكون صورته شبيهة جدا (بشكل ١٢٠) وهذا النظام سيضم « مرورا آمنا » في كل حلقة على حدة ، ولكن حيث أن سرعة دوران الحلقات مختلفة فلا بد من وقوع « حوادث مرور » كلما مست حلقة حلقة أخرى . ولابد أن هذه العدد من الصدمات المتبادلة على الحدود بين جسيمات حلقة وما يجاورها من جسيمات أخرى قد أسفر عن عملية التراكم وازدياد كتل المادة شيئا فشيئا على هذه الأبعاد بالذات من الشمس . وهكذا تكونت الكواكب عن طريق نقص اتساع كل حلقة وتراكم المادة على حدودها مع الحلقات الأخرى .



(شكل رقم ١٢٠)

حارات المرور للغبار في الغلاف الشمسي البدائي .

والشئل السابق يعطينا فكرة مبسطة عن القاعدة القسدية التى تحكم انصاف اقطار مدارات الكواكب . والواقع أن الاعتبارات الهندسية الأولية تظهر لنا أنه فى النموذج الموضح فى شكل (١٢٠) . تكون انصاف اقطار المدارات . للحلقات المتتابعة معبرة عن متوالية هندسية يكون كل حد فيها ضعفى الحد السابق عليه . ويظهر لنا أيضا أن هذه القاعدة ليست دقيقة تماما . والواقع أنها ليست وليدة قانون صارم يحكم حركة الجزيئات فى سحابة الغبار الأصلية ، ولكنها بالأحرى تعبر عن اتجاه معين فى الحركة أكثر نظاما من حركة الغبار العادية .

أما انطباق نفس القاعدة على توابع (أقمار) الكواكب المختلفة فى نظامنا فيدل على أن تكوين التوابع قد حدث بنفس الأسلوب تقريبا . وعندما تفتت سحابة الغبار الأصلية المحيطة بالشمس الى مجموعات منفصلة من الجسيمات كانت هى الكواكب فيما بعد تكررت العملية مرة أخرى وفى كل مرة تركز الجزء الأكبر من المادة فى الوسط ليعطى فى النهاية جسم الكوكب بينما تكثف الجزء الباقي منها بالتدريج على هيئة عدد من التوابع .

ولقد فاتنا فى خضم هذا الحديث عن المصادمات المتبادلة ونمو جزيئات الغبار أن نخبرك بما حدث للجزء الغازى فى الغلاف الشمسى البدائى الذى كان اذا كنت لا تزال تذكر يمثل ٩٩ فى المائة من كتلتها الكلية والاجابة على هذا السؤال أبسط نسبيا .

أثناء تصادم جزيئات الغبار الذى أدى الى تكوين كتل أكبر وأكبر من المادة . تسربت جزيئات الغاز تدريجيا الى الفضاء النجمى . ويمكن الاثبات بحسابات بسيطة نسبيا أن الزمن الذى استغرقته هذه العملية كان ١٠٠ مليون عام تقريبا ، وهو نفس الزمن الذى استغرقه تكوين الكواكب .

لذا فما أن أخذت هذه الكواكب شكلها النهائى حتى كان أغلب الهيدروجين والهليوم وهما العنصران الأساسيان فى الغلاف الشمسى البدائى قد فرا من النظام الشمسى تاركين وراءهما هذه الكميات القليلة التى أشرنا اليها من قبل باسم الضوء البروجي (الزودياك) .

ومن النتائج الهامة لنظرية « فيتس تسيكر » أن عملية تكوين النظام الكوكبى لم تكن حالة استثنائية ولكنها قد حدثت جزئيا فى تكوين كل النجوم . وهذه الجملة تناقض تماما الاستنتاجات التى ترتبت على نظرية الصدام التى اعتبرت عملية التكوين الكوكبية حالة لم تتكرر فى تاريخ الكون . ولقد كانوا يظنون أن الصدمات النجمية حالات نادرة جدا ، وأن من بين 4×10^{10} نجما وهو عدد نجوم درب التبانة لم تحدث

الا حالات قليلة جدا من مثل هذا النوع من الحوادث (وهذا غير مؤكد عندهم) على مدار عدة بلايين من السنين هي عمر هذه النجوم .

فاذا كان - كما يتضح لنا الآن - لكل نجم نظام كوكبي تابع له فهذا يعنى ان هناك الملايين من الكواكب فى مجرتنا وحدها تشبه فى ظروفها الطبيعية ظروف الارض تماما . وسوف يكون من الغريب ان لم يكن من المذهل - لو اكتشفنا ان هذه الكواكب « خلو من الحياة » بل وفى ارقى صورها أيضا .

وقد ناقشنا فى الفصل التاسع أبسط صور الحياة مثل الأنواع المختلفة من الفيروسات ورأينا أنها مجرد جزيئات معقدة تتركب أساسا من ذرات الكربون والهيدروجين والنيوتروجين . وحيث ان هذه العناصر توجد بالتاكيد بكميات وفيرة على سطح أى كوكب حديث التكوين فلا مفر لنا من الاعتقاد أن بعض هذه الجزيئات قد ظهر بعد تكوين القشرة السطحية ان أجلا أو عاجلا وبعد تكثف البخار الجوى على هيئة مستودعات مائية ضخمة نتيجة للاتحاد بين الذرات المناسبة فى النظام المناسب عن طريق الصدفة . ومن المؤكد أن تعقد الجزيئات الحية يجعل احتمالية تكوينها عن طريق الصدفة أمرا مشكوكا فى حدوثه . فهو أقرب الى احتمال الحصول على صورة كاملة عن طريق رج الصندوق المحتوى على قصاصاتها على أمل أن تترتب الدقة من تلقاء نفسها . ولكن يجب ألا ننسى أن عدد الذرات كان رهيبا وأنها لم تفتأ تتصادم مع بعضها باستمرار وأن الوقت الذى أتيح لها لترتيب نفسها كان طويلا جدا . وظهور الحياة على كوكبنا بعد فترة صغيرة نسبيا بمجرد أن ظهرت القشرة الأرضية يدل على أن تكوين الجزيئات بمحض الصدفة لم يكن يحتاج الا الى بضعة مئات ملايين السنين رغم غرابة الأمر . وما أن ظهرت أبسط صورة للحياة على سطح الكوكب حديث النشأة حتى أدت عملية التكاثر العضوى والتطور التدريجى الى ظهور صور أكثر تعقيدا شيئا فشيئا من النظم الحية (٣) . ولا ندرى ان كانت نشأة الحياة على الكواكب الأخرى « الصالحة للسكنى » قد تمت بنفس الطريقة أم لا . ومن ثم فان دراسة الحياة فى العوالم المختلف ستسهم بصفة جوهرية فى تفهمنا لعمليات النشوء والتطور .

ولكن اذا كان من الممكن لنا دراسة صور الحياة التى قد توجد على المريخ أو الزهرة (أفضل الكواكب « الصالحة للسكنى » فى نظامنا الشمسى) فى المستقبل غير البعيد بالقيام برحلة مغامرة على متن « سفينة

(٣) لمزيد من التفاصيل عن اصل الحياة ونطورها على الارض ارجع الى كتاب المؤلف A Planet Called Earth (New York, The Viking Press, 1963).

فضاء تعمل بالطاقة الذرية » ، فان قضية احتمال وجود الحياة ، والصور التي قد تتمثل فيها على العوالم النجمية الأخرى التي تفصل بيننا وبينها المئات بل وآلاف السنين الضوئية سوف تظل على الأرجح سرا مستغلقة أمام العلم .

٢ - الحياة الخاصة للنجوم :

بعد أن أخذنا صورة كاملة تقريبا عن الكيفية التي منحت بها النجوم - كل على حدة - الفرصة لمولد أسرها من الكواكب ربما نتساءل الآن عن النجوم نفسها .

ما هو تاريخ حياة النجم ؟ وما هي تفاصيل مولده ، والتغيرات التي طرأت عليه في رحلة عمره الطويلة ، ومتى تحين نهايته ؟

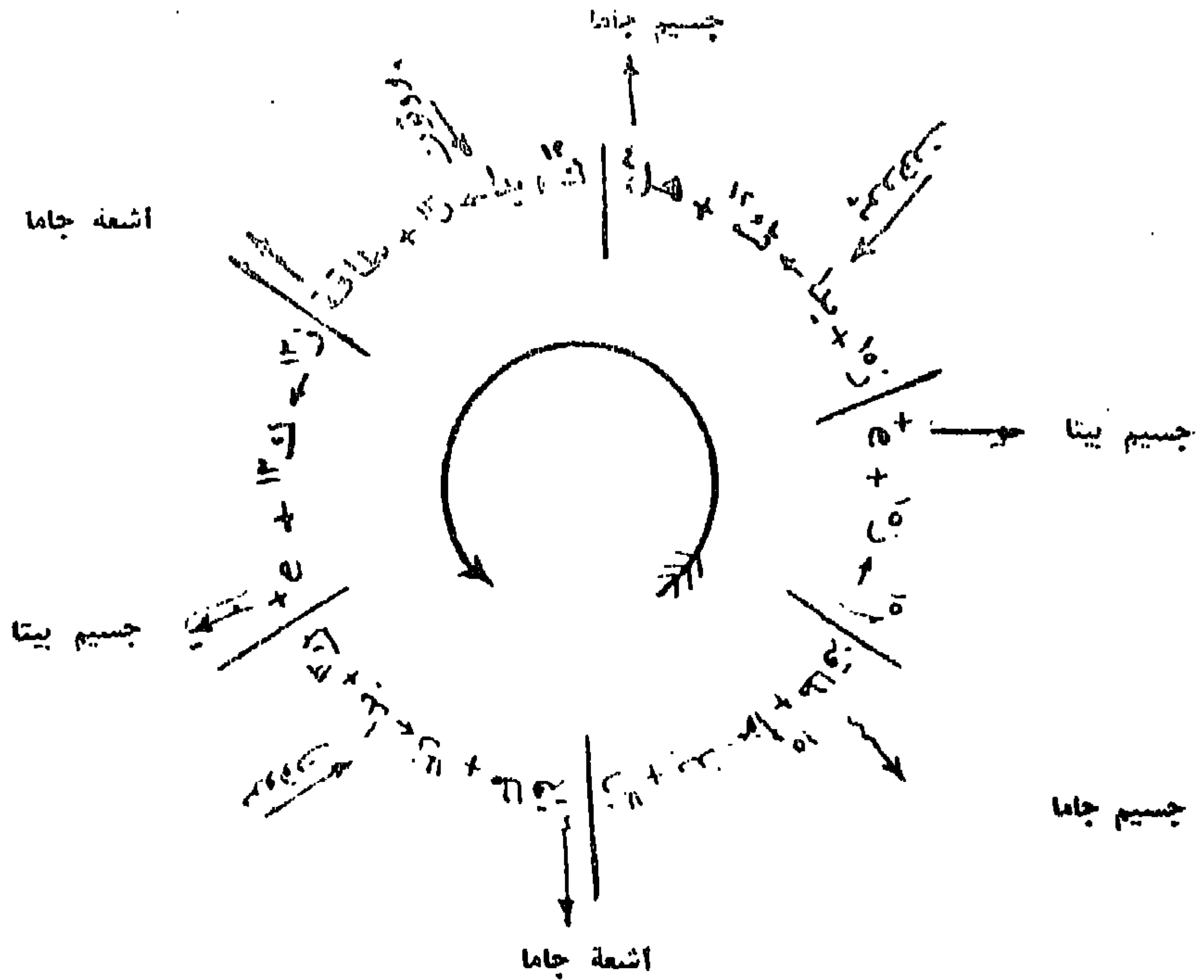
ونستطيع أن نبدأ الإجابة على هذا السؤال بالنظر أولا الى شمسنا ، فهي تكاد تكون عينة مماثلة تقريبا لبقية الأعضاء من بلايين نجوم درب التبانة .

ونحن نعرف أساسا أن شمسنا نجم قديم الى حد ما ، فوفقا لمعلومات عام الاحاثه (*) (البليونتولوجيا) ظلت الشمس تضيء بنفس القوة لبضعة بلايين من السنين معطية الحياة فرصة للتطور على سطح الأرض . ولا يوجد مصدر عادي يمكنه أن يوفر هذا الكم من الطاقة لهذه الفترة الطويلة . وظلت مشكلة اشعاع الشمس أحد الألغاز التي استعصت على العلم حتى اكتشف العلماء التحولات الاشعاعية ، والتحول الاصطناعي للعناصر مما كشف لنا عن مصادر هائلة للطاقة الكامنة في أعماق نواة الذرة . ولقد رأينا في الفصل السابع أن أى عنصر كيميائي هو عمليا وقود كيماوى يمكن أن يعطينا قدرا هائلا من الطاقة ، وأن هذه الطاقة يمكن تحريرها عن طريق تسخين هذه العناصر ورفع درجة حرارتها ملايين الدرجات .

وفى حين أن هذه الدرجات العالية يستحيل عمليا الوصول اليها فى المعامل الأرضية الا أنها مألوفة فى عالم النجوم الى حد كبير . وفى الشمس مثلا تبلغ الحرارة على السطح ٦٠٠٠° مئوية فقط ثم تزيد بالتدريج حتى تصل فى مركزها الى ٢٠ مليون درجة . ويمكن حساب هذا الرقم دون صعوبة كبيرة من ملاحظة درجة حرارة هذا الجسم النجمى ومعرفة

(*) علم يبحث فى أشكال الحياة فى العصور القديمة (الترجمة) .

خواص الغازات الموصلة للحرارة التي تتكون منها الشمس . وبالمثل نستطيع حساب درجة الحرارة داخل ثمرة بطاطس ساخنة من غير حاجة الى شقها اذا علمنا درجة حرارة السطح وقدرة مادتها على توصيل الحرارة .



(شكل رقم ١٢١)

التفاعل النووي الدائري المسئول عن تولد طاقة الشمس .

واذا أضفنا هذه المعلومة عن درجة حرارة مركز الشمس الى ما نعرفه عن معدلات التفاعل في التحولات النووية المختلفة نستطيع أن نضع يدنا على نوع التفاعل المسئول عن تولد الطاقة في الشمس . وتعرف هذه العملية النووية الهامة باسم « دورة الكربون » وقد اكتشفها عالمان مختلفان من علماء الفيزياء في نفس الوقت وهما « هـ . بيت » و « فيتس تسيكر » .

والتفاعل النووي الحراري المسئول الاساسي عن انتاج الطاقة في الشمس ليس قاصرا على عملية واحدة من عمليات التحول النووي ، ولكنه يتألف من سلسلة من التحولات المتصلة تكون معا ما يعرف بسلسلة التفاعلات . ومن أهم ملامح هذه السلسلة أنها دائرية ومغلقة تعود بنا من حيث أتينا بعد كل ست خطوات . ونرى من شكل (١٢١) الذي يمثل رسما برنامجيا لهذه السلسلة الشمسية أن أهم المشاركين فيها هي : أنوية

الكربون ، والنيتروجين بالإضافة الى البروتونات الحرارية التي تصطدم بها .

فاذا بدأنا مثلا بالكربون العادى (C^{12}) نجد أن التصادم يؤدي الى تكوين نظير النيتروجين الخفيف (N^{13}) . وتحرير بعض الطاقة دون الذرية على صورة أشعة (γ) (جاما) . وهذا التفاعل بالذات معروف لعلماء الفيزياء النووية كما أمكن الحصول عليه تحت الظروف العملية باستخدام بروتونات عالية الطاقة معجلة صناعيا . وحيث ان نواة (N^{13}) غير مستقرة فانها تتخلص من إلكترون موجب أو جسيم بيتا موجب لتتحول الى نواة مستقرة لنظير كربون أثقل (C^{13}) ، وهذا النظير من المعروف أنه يوجد بكميات قليلة فى الفحم العادى ، وعندما يصطدم الكربون بعد ذلك ببروتون حرارى آخر يتحول الى نيتروجين عادى (N^{14}) مطلقا مزيدا من أشعة جاما المكثفة . والآن تصطدم نواة (N^{14}) التى كان من الممكن أن نبدأ بها فى وصف التفاعل بنفس السهولة التى بدأنا بها مع الكربون (مع بروتون حرارى آخر (الثالث) لتسمح بظهور نظير أكسجين غير مستقر (O^{15}) الذى سرعان ما يتحول الى (N^{15}) المستقر بطرد الإلكترون موجب . وأخيرا يتلقى (N^{15}) بروتونا رابعا يصيبه فى القلب فينقسم الى جزأين غير متساويين أحدهما نواة C^{12} التى بدأنا بها ، أما الجزء الآخر فهو نواة الهليوم أو جسيم ألفا .

وهكذا نرى أن أنوية الكربون والنيتروجين تتولد الى الأبد فى سلسلة التفاعل الحلقى (الدائرى) وتعمل كعامل مساعد فقط كما يسميها الكيميائيون . والنتيجة النهائية لهذه السلسلة من التفاعلات هى تكوين نواة هليوم واحدة من البروتونات الأربعة التى دخلت التفاعل واحدا بعد الآخر ، ومن ثم نستطيع أن نصف العملية كلها بأنها تحول الهيدروجين الى هليوم نتيجة لدرجات الحرارة العالية وبمساعدة التفاعل الحفاز للكربون والنيتروجين .

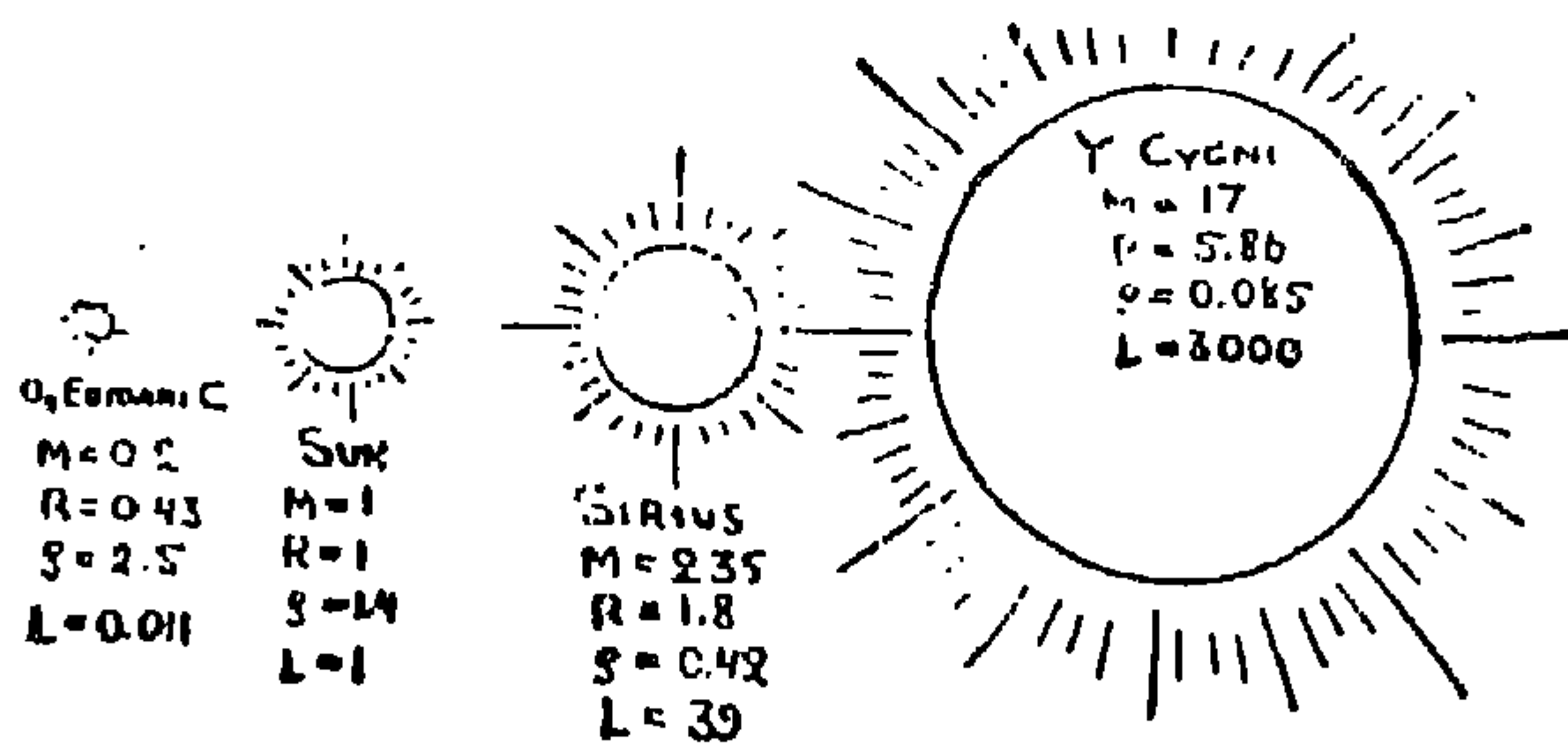
وقد استطاع « بته » أن يثبت أن الطاقة فى هذه السلسلة تحتاج حتى تنطلق الى درجة حرارة تصل الى ٢٠ مليون وهى الكمية الفعلية من الطاقة التى تشعلها الشمس ، وحيث ان كل التفاعلات الممكنة تكون نتائجها مخالفة للدليل الفيزيائى الفلكى فلا بد لنا من أن نقبل أن دورة الكربون والنيتروجين تمثل بصفة أساسية السبب الأول لتوليد الطاقة الشمسية .

وهنا يجدر بنا أن نلاحظ أيضا أن دورة الكربون والنيتروجين الموضحة فى شكل (١٢١) تستغرق تحت درجة الحرارة الموجودة فى باطن

الشمس حوالي ٥ ملايين عاما ، ولذا عند نهاية هذه الفترة تخرج كل نواة من أنوية الكربون (أو النيتروجين) التي بدأت التفاعل بنفس الصورة التي كانت عليها في البداية وكأنها لم تمس ولم تمر عليها هذه السنون .

ومن جهة الدور الأساسى الذى تقوم به ذرة الكربون فى هذه العملية هناك شىء ينبغى أن نقوله بالنسبة للنظرة القديمة التى تلخصت فى أن حرارة الشمس مبعثها الفحم ، فنحن لن نضيف إليها إلا أن « الفحم » هنا ليس ذلك الوقود العادى ولكنه يؤدى بدلا من ذلك دورا أسطوريا أشبه بدور العنقاء (*) .

ويجب أن نلاحظ بصفة خاصة هنا أنه فى حين يعتمد إنتاج الطاقة عن طريق التفاعل فى الشمس على الحرارة وكثافة الأجزاء المركزية فيها بصفة أساسية فإنه يعتمد أيضا إلى حد ما على محتويات جسم الشمس من هيدروجين وكربون ونيتروجين . وهذا الاستنتاج يجعلنا نفكر فى الحال فى الطريقة التى نستطيع بها أن نحلل الغازات الشمسية عن طريق تحديد تركيز المواد الداخلة فى مثل التفاعل السابق بحيث يكون مناسباً تماماً للمعان الذى يصدر عن الشمس . وقد أجريت التقديرات المعتمدة على هذه الطريقة حديثاً جداً على يدى « م . شوارز تشيلد » فادت إلى اكتشاف أن ما يزيد عن نصف المادة الشمسية يتكون من الهيدروجين النقى ، وأقل من النصف من الهيليوم النقى وقليل جداً من كافة العناصر الأخرى .



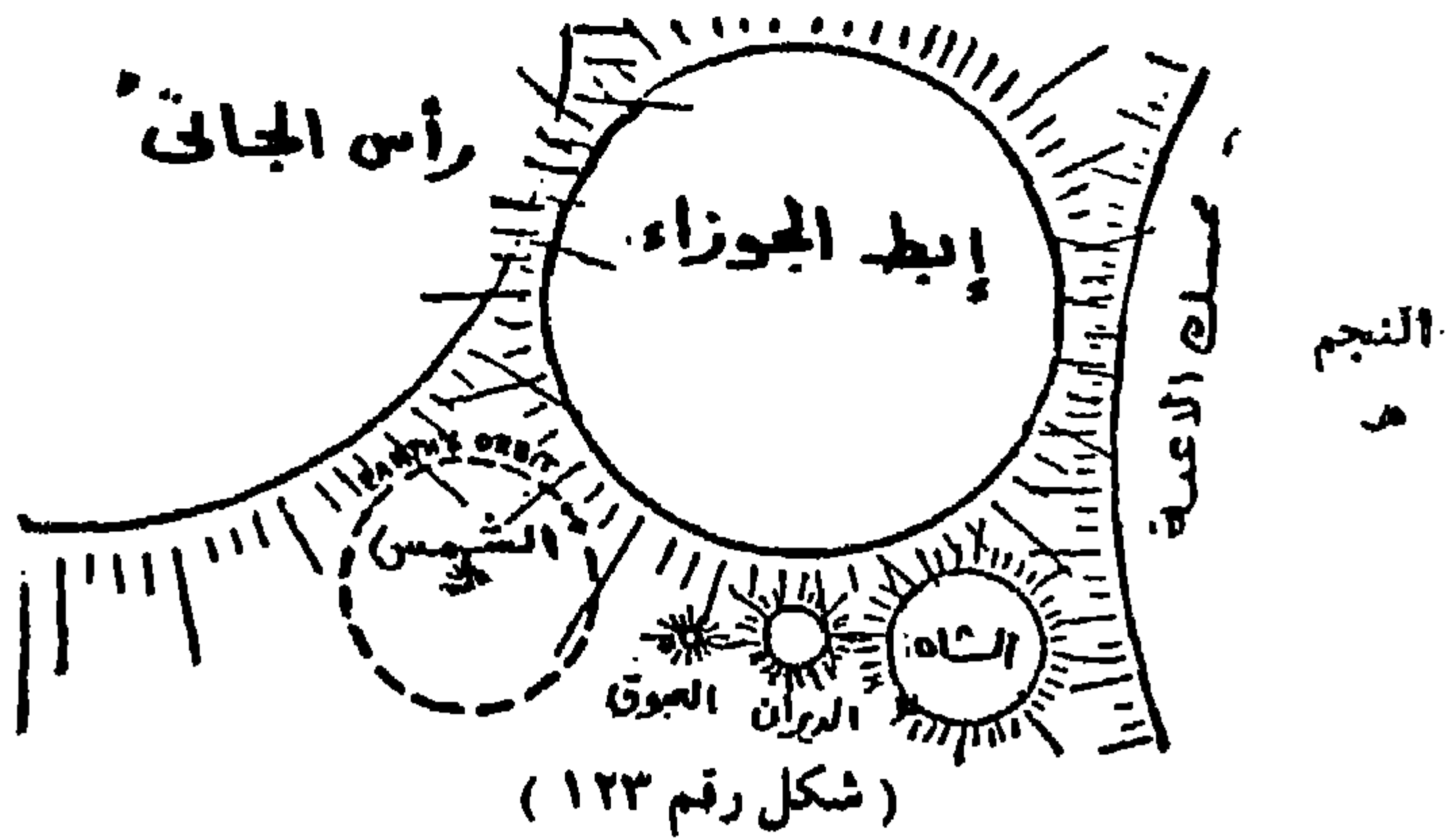
التألق = L الكثافة = S نصف القطر = R الكتلة = M

(شكل رقم ١٢٢)

الأساسى للسج

(*) العنقاء طائر خرافى زعم قدماء المصريين أنه يعمر خمسة قرون أو ستة ، وبعد أن يحرق نفسه ينبعث من رماده وهو أتم ما يكون شباباً وجمالاً (المترجم) .

وينسحب هذا التفسير بسهولة على أغلب النجوم الأخرى مما يجعلنا نستنتج أن النجوم المختلفة في كتلتها تختلف درجات حرارتها من الداخل مما يعنى تبعيا اختلاف معدلات إنتاجها للطاقة . وهكذا فإن النجم المعروف باسم (O Eridani C) (*) وهو أخف من الشمس وزنا بخمس مرات يشع بقوة لا تتعدى ١٪ من قوة اشعاع الشمس ومن جهة أخرى يشع النجم (X Canis Majoris A) المعروف باسم الشعرى اليمانية (Sirus) بقوة تفوق قوة الشمس بأربعين ضعفا (هذا النجم أثقل من الشمس بمرتين ونصف المرة) . وهناك أيضا نجوم عملاقة مثل (Y, 380 Cygni) (**), وهو أثقل من انشمس أربعين مرة وأقوى اشعاعا منها بمئات الآلاف من المرات . وفى جميع هذه الحالات يمكن تفسير العلاقة بين كتلة النجم واشعاعه على نحو مقبول جدا بأنها زيادة معدل تفاعل « دورة الكربون » نتيجة لارتفاع حرارة النجم من الداخل تبعا لما يسمى بـ « الترتيب الأساسى » للنجوم نجد أن زيادة الكتلة تؤدي الى زيادة نصف قطر النجم (من ٤٣ ر من نصف قطر الشمس بالنسبة لـ (O₂ Eridani C) حتى ٢٩ مرة قدر مثيله فى الشمس بالنسبة لـ (Y 380 Cygni) والى نقص متوسط الكثافة فيها (من ٢٥ فى (O₂ Eridani C) ثم ١٤ فى الشمس حتى ٠.٠٠٢ ر لـ (Y 380 Cygni) وفى شكل ١٢٢ نجد بعض البيانات عن الترتيب الأساسى للنجوم .



النجوم العماليق والعماليق الكبرى بالنسبة لحجم نظامنا الشمسى .

(*) أحد نجوم كوكبة النهر الجنوبية (المترجم) .

(**) أحد نجوم كوكبة شمالية تعرف بالدجاجة (المترجم) .

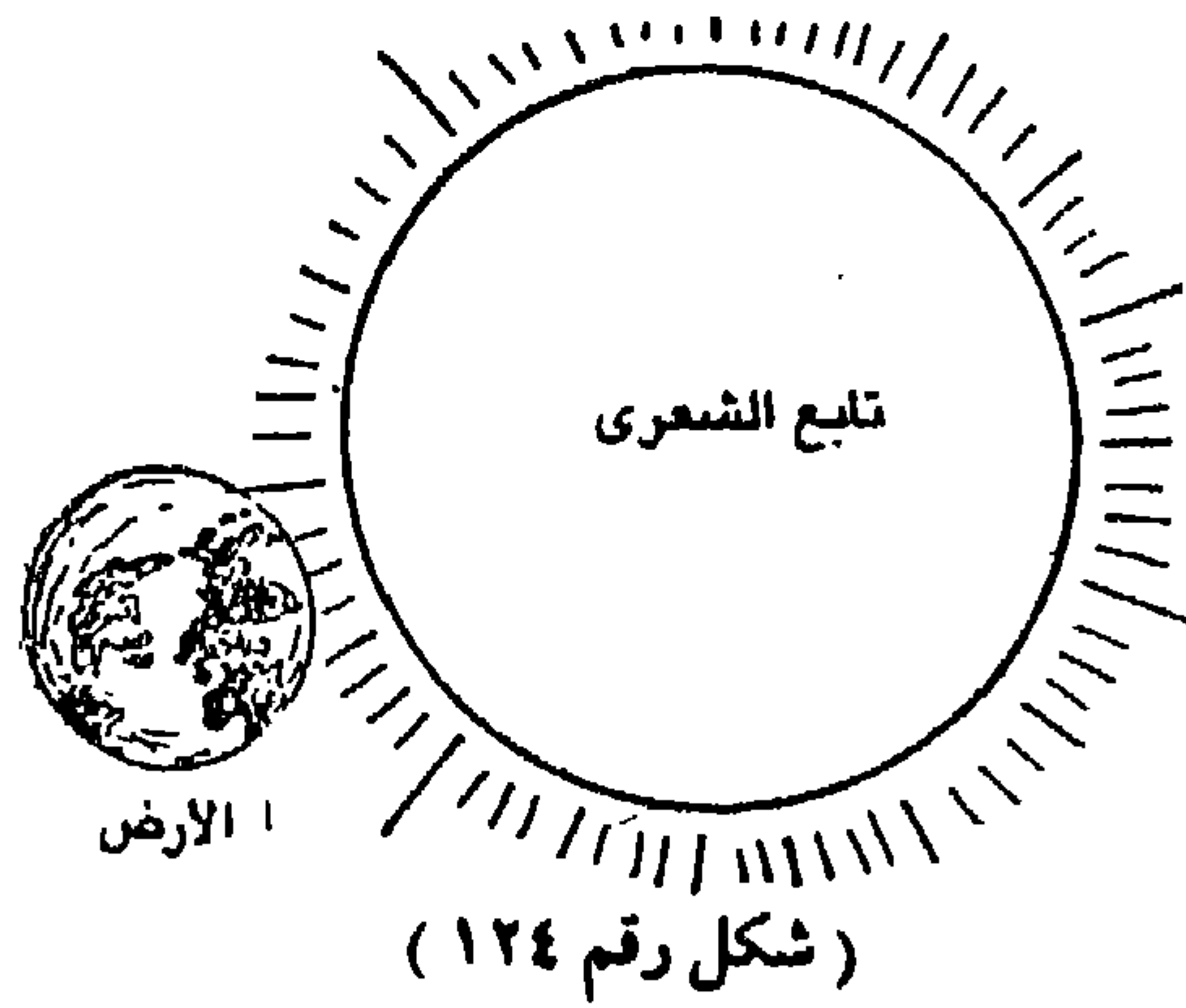
وبالإضافة الى النجوم (العادية) التى تتحدد أنصاف أقطارها وكثافتها ولعانها وفقا لكتلتها يجد علماء الفلك أنماطا من النجوم تختلف قطعاً عن هذا النظام البسيط .

فهناك من النجوم ما يعرف باسم « العملاق الأحمر » و « العملاق الأكبر » ، وهذه النجوم رغم أنها تحتوى على نفس الكم من المواد الذى تحتوى عليه النجوم (العادية) ذات اللعان المساوى فى درجته لها إلا أنها ذات أبعاد خطية أكبر بكثير . فى الشكل (١٢٣) حاولنا أن نعطي لك صورة تقريبية لهذه المجموعة من النجوم غير العادية والنمى تتضمن أسماء مشهورة (مثل

Capella, Ras Algethi, Betelguse, Aldebaran, Scheat (E Aurigae).

(العيوق والشساة والدبران وابط الجوزاء ورأس الجائى والنجم ه فى كوكبة ممسك الأعنة) .

ومن الواضح أن أجسام هذه النجوم قد (تورمت) الى هذه الدرجة الهائلة نتيجة لعوامل داخلية ليس لها تفسير حتى الآن مما جعل كثافتها تنخفض كثيرا عن كثافة أى نجم عادى .



النجوم البيضاء المتقزمة بالنسبة للأرض

وعلى النقيض من هذه النجوم « المتورمة » نجد مجموعة أخرى من النجوم ذات الأقطار الصغيرة . ومن بين نجوم هذه المجموعة ذلك النوع المعروف باسم « الأقزام البيضاء » (٤) ويظهر أحدها فى شكل (١٢٤)

(٤) أصل هاتين التسميتين (« العماليق الحمراء » و « الأقزام البيضاء ») يرجع الى العلاقة بين شأن هذه النجوم ومساحة سطوحها . إذ أن النجوم المخلخلة تكون مساحة أسطحها كبيرة جداً بالنسبة لكم الإشعاع الصادر عن باطنها ، ولذا تكون درجة حرارة هذه الأسطح منخفضة نسبياً مما يكسبها لونا أحمر . أما سطوح النجوم العالية الكثافة فلا بد وأن تكون ملتهبة جداً او ملتهبة الى درجة البياض .

بجانب الأرض للمقارنة . ويتكون « تابع الشعري اليمانية » من كتلة قريبة من كتلة الشمس فهو لا يزيد عن ثلاثة أضعاف حجم الأرض ، أما متوسط كثافته فلا بد وأنه ٥٠٠.٠٠٠ ضعف لكثافة الماء ! وليس هناك شك تقريبا في أن نجوم الأقزام البيضاء تمثل مرحلة متأخرة من مراحل التطور النجمي وهى تلك المرحلة التى يكون فيها قد استهلك كل الوقود الهيدروجينى المتاح له .

وكما رأينا من قبل ان مصدر حياة النجوم هو التفاعل الكيميائى البطيء الذى ينحول الهيدروجين فيه الى هليوم . ولما كان النجم الحديث التكوين وهو هذا النجم الذى خرج لتوه الى الوجود نتيجة تكثف المادة النجمية المنتشرة للفضاء يحتوى على أكثر من ٥٠٪ من الهيدروجين بالنسبة لكتلته الكلية فأننا ننتظر له دورة حياة طويلة . وهكذا يمكن للمرء أن يحسب من اللعان الظاهر للشمس مثلا أنها تستهلك حوالى ٦٦٠ مليون طن من الهيدروجين فى الثانية ، وحيث ان كتلتها تصل الى 2×10^{27} طنا ، ونصف هذه الكتلة من الهيدروجين فمن الواضح اذن أن عمرها المفترض سيبلغ 5×10^7 ثانية أو حوالى 5×10^7 عاما ! فاذا تذكرنا أن عمر شمسنا الآن لا يزيد عن 3×10^9 عاما أو 4×10^9 عاما (٥) تقريبا لوجدنا أنها لا تزال تعتبر صغيرة السن جدا وسوف تستمر فى بث اشعاعها بنفس قوتها الحالية تقريبا لبلايين الأعوام القادمة .

ولكن الشمس الأكبر كتلة والأشد بالتالى برقا مستهلك مئونها الأصلية من الهيدروجين بمعدل أعلى بكثير . لذا فان « الشعري اليمانية » مثلا وهى أثقل من الشمس بـ ٢٣ مرة وتحتوى بالتالى على قدر أكبر من الهيدروجين بنسبة ٢٣ مرة الى الشمس أشد لعانا بـ ٣٩ مرة من الشمس وتستهلك وقودا أكثر منها بـ ٣٩ مرة فى نفس الفترات الزمنية ولذا فان عمر « الشعري اليمانية » لا يزيد عن 3×10^9 عاما بالنسبة لما تحتوى عليه من وقود هيدروجينى . وفى النجوم الأشد لعانا مثل Y 380 Cygni (أكبر من كتلة الشمس بـ ١٧ مرة وأشد برقا منها بـ ٣٠.٠٠٠ مرة) يكون الوقود الهيدروجينى الأصلى فيها غير كاف الا لـ ١٠٠ مليون عام تقريبا .

ما الذى يحدث للنجم عندما ينضب أخيرا معينه من الهيدروجين ؟ .. حيث أن الطاقة النووية التى كانت تحافظ على سطوع النجم فى درجة ثابتة تقريبا أثناء فترة حياته قد انتهت فلا بد لجسم النجم أن ينكمش وبالتالى يمر فى مراحل متعاقبة من ازدياد الكثافة شيئا فشيئا .

(٥) اذ أن نظرية « فيتس تسيكر » تنص على أن الشمس ظهرت قبل النظام الكوكبى بوقت غير طويل وعمر الأرض قد قدر فى حدود ذلك النطاق الزمنى .

وتكشف لنا المشاهدات الفلكية عن وجود عدد كبير من هذه « النجوم المنكمشة » التي يزيد متوسط كثافتها عن الماء بمعامل قدره مئات الآلاف من المرات . ولا تزال هذه النجوم ساخنة جدا ونتيجة لارتفاع درجة حرارة سطوحها فهي تشع ضوءا أبيض يعتبر خلفية واضحة للنجوم الصفراء أو الحمراء العادية ، وهذه النجوم صغيرة الحجم جدا وأقل في لمعانها من الشمس بآلاف المرات . ويطلق علماء الفلك على النجوم في هذه المراحل المتأخرة من التطور اسم « الأقزام البيضاء » وهذا المصطلح يجمع في دلالة بين الأبعاد الهندسية ودرجة اللعان الكلي . وبمرور الزمن سوف تفقد الأجسام البيضاء بريقها تدريجيا ثم تصبح في النهاية « أقزام سوداء » وهي تلك الكتل الكبيرة الباردة من المواد والتي لا يمكن رصدها من خلال المشاهدات الفلكية المعتادة .

ويجدر بنا على أية حال أن نلاحظ أن عملية التقلص والتبريد التدريجي للنجوم المعمرة التي استهلكت كل وقودها الهيدروجيني الهام لا تنهى حياتها بشكل منظم وتدرجي تماما ، فهي تقطع « آخر خطواتها » قبل الفناء غالبا تحت تأثير الانتفاضات القوية وكأنها تصارع قدرها . وتعتبر هذه الأحداث المأساوية المعروفة باسم **الانفجارات والانفجارات العظمى (*)** تعتبر من أكثر موضوعات الدراسات النجمية إثارة ففي خلال أيام معدودات يزداد لمعان نجم قد لا يختلف عن غيره من النجوم بمعامل قدره مئات الآلاف من المرات ويصبح سطحه شديد السخونة جدا . وتدل دراسة التغيرات التي تطرأ على الطيف المصاحب لهذه الزيادة المفاجئة في اللعان على أن جسم النجم يزداد التهابا وتورما ، وأن الطبقات الخارجية له تتمدد بسرعة تبلغ حوالى ٢٠٠٠ كم/ث . على أن ازدياد اللعان ليس الا شيئا مؤقتا وما أن يبلغ حده الأقصى حتى يبدأ النجم في الانطفاء ببطء . وعادة يمر عام قبل أن يعود لمعان النجم المنفجر الى حجمه الأصلي ، هذا على الرغم من أنه قد لوحظت اختلافات طفيفة في الاشعاع النجمي بعد فترات أطول بكثير . فعلى حين أن بريق النجم يعود كما كان فلا يمكن أن نقول نفس الشيء عن الخواص الأخرى ، إذ أن هناك جزء من المجال النجمي الذي يشارك في عملية التمدد السريع أثناء مرحلة الانفجار يستمر في حركته الى الخارج ويلف الشمس بغشاء من الغازات الالامعة يتضخم حجمه مع الزمن . على أن الدليل الخاص بالتغيرات التي تدوم في النجم ليست بعد محددة إذ لم يتم تصوير طيف نجم منفجر الا مرة واحدة (انفجار أوريجا ١٩١٨) وحتى هذه الصورة لم تكن جيدة تماما بحيث لا يمكن

(*) أو المتجددات والمتجددات العظمى لتجدد الانفجارات (المترجم)

التأكد من حرارة السطح أو قطر النجم في المرحلة السابقة مباشرة على انفجاره .

ويمكن الحصول على براهين أفضل بالنسبة لعواقب الانفجار في النجم من ملاحظة « الانفجارات العظمى » وهي هذه الانفجارات السريعة التي تحدث في نظامنا النجمي مرة واحدة كل عدة قرون (على خلاف الانفجارات العادية التي تقع بمعدل انفجار كل ٤٠ سنة) وهي تفوق في لمعانها الانفجارات العادية بمئات الآلاف من المرات . وعندما تصل هذه النجوم الى قمة لمعانها تقترب الأشعة المنبعثة منها في قوتها من الضياء المنبعث من نظام نجمي برمته . ومن الأمثلة النموذجية في درب التبانة على هذه الانفجارات العظمى النجم الذي رصده « تايكوبرا » عام ١٥٧٢ وكان ضوءه واضحا في وسط النهار المشرق ، والنجم الذي رصده علماء الفلك الصينيين عام ١٠٥٤ ، وربما كان نجم « بيت لحم » كذلك من بين هذه النجوم .

وقد تم رصد أول انفجار عظيم خارج مجرتنا عام ١٨٨٥ في النظام النجمي المجاور لنا (سديم اندروميديا) وقد زاد لمعانه عن لمعان كافة النجوم المتفجرة التي سبقت مشاهدتها في هذا النظام بألف مرة . ومع الندرة النسبية لهذه الانفجارات السريعة الا أن دراسة خواصها قد أدت الى تقدم عظيم في السنوات الأخيرة بفضل مشاهدات « باد » و « تسفيكي » اللذين كانا أول عالين يلاحظان نوعين من الانفجار ويبدأن دراسة منطقية للانفجارات العظمى التي تظهر على البعد في مختلف النظم النجمية .

وعلى الرغم من التباين الرهيب في درجة التألق الا أن الانفجارات العظمى تتسم بالتشابه مع الانفجارات العادية في كثير من ملامحها . فالارتفاع السريع في درجة التألق والانخفاض البطيء الذي يعقبه يمكن التعبير عنهما عمليا في كلتا الحالتين بنفس المنحنى (باستثناء مقياس الرسم) والانفجار الأعظم يؤدي الى تمدد الغلاف الغازي على نحو سريع كما يحدث في الانفجار العادي وان كان تمدد الأول يزيد كثيرا عن تمدد الأخير . والواقع أنه في حين أن الأغلفة الغازية المنبعثة عن الانفجار العادي يقل حجمها شيئا فشيئا ثم تذوب وتتبدد بسرعة في الفضاء المحيط نجد أن الكتل الغازية المنطلقة من الانفجار الأعظم تكون سديما كثيفا يشير الى موقع الانفجار . ونستطيع على سبيل المثال أن نعتبر ما يطلق عليه « سديم السرطان » أثرا - لا سبيل الى الشك فيه - للانفجار الأعظم الذي وقع عام ١٠٥٤ وكانت الغازات الناتجة عنه سببا في ظهور هذا السديم .

وفي هذا الانفجار بالذات نجد دليلا على مكان النجم الذي بقي بعد الانفجار . فالحقيقة أن المشاهدات تدل على وجود نجم خافت في مركز

« سديم السرطان » وهذا النجم يندرج تحت فئة الأقزام البيضاء عالية الكثافة بالنسبة لما لوحظ من خواصه .

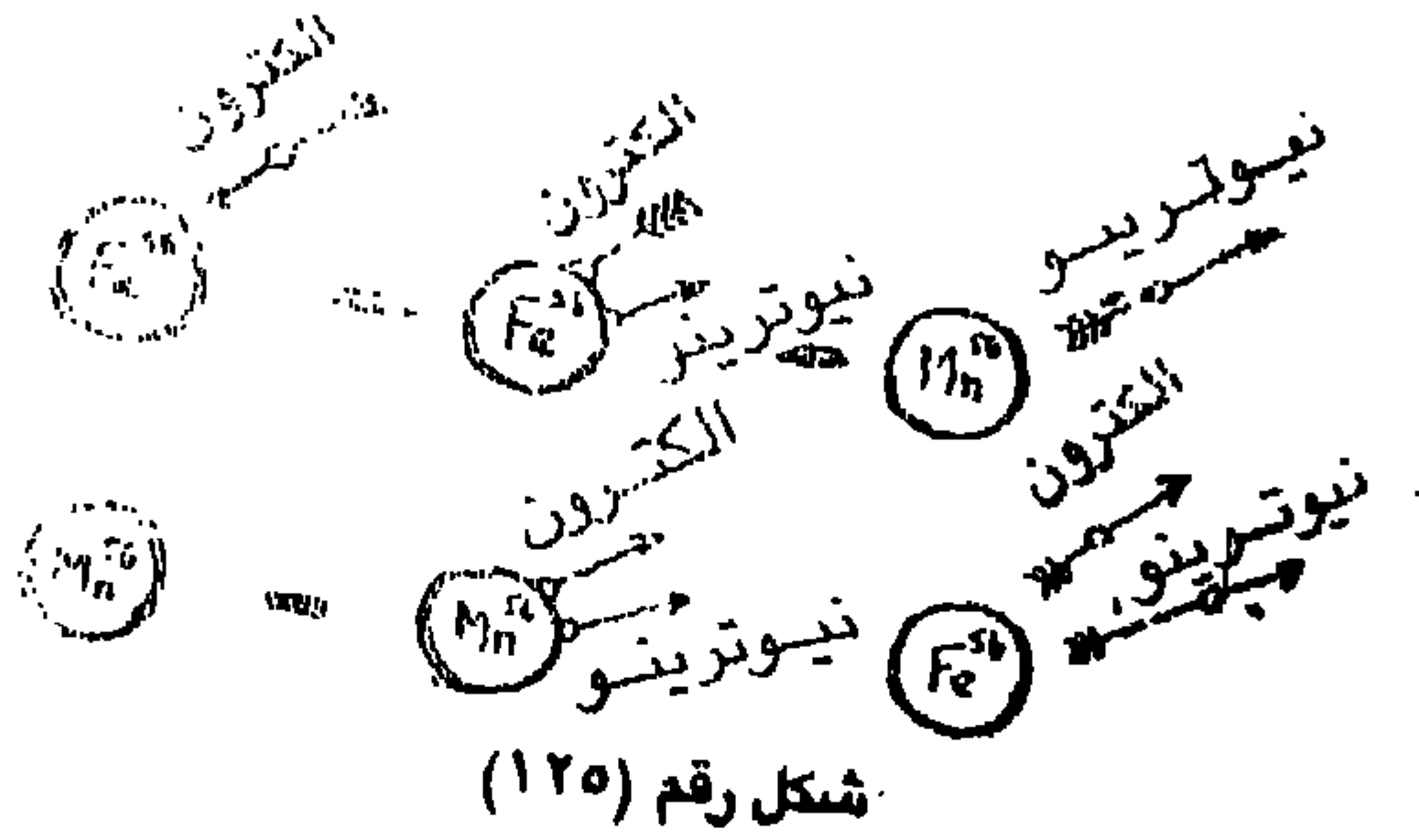
ويشير هذا الى أن عملية الانفجار الأعظم تشبه فيزيقيا الانفجار العادي وان كانت صورة مكبرة منه .

وبتبنى « نظرية الانهيار » فى الانفجارات العادية والعظمى ينبغى قبل أى شىء أن نسأل أنفسنا عن الأسباب التى قد تؤدى الى هذا الانكماش السريع فى الجسم النجمى بأكمله . ومن الثابت تماما فى الوقت الحاضر أن النجوم عبارة عن كتل عملاقة من الغازات الساخنة وأن حالة التوازن تعتمد على أن الضغط الغازى العالى الناجم عن المادة الساخنة فى داخل النجم يحافظ على حجم هذا النوع . وطالما كانت « حلقة الكربون » التى شرحناها فيما سبق مستمرة فى مركز النجم فإن الطاقة المنبعثة على سطحه تتجدد بالطاقة دون الذرية المنتجة داخل الشمس ولا يتغير النجم الا بدرجة ضئيلة جدا . وبمجرد أن يستهلك النجم كل ما فيه من هيدروجين لا يجد طاقة دون ذرية بعد ذلك فلا يستطيع الا أن ينكمش ومن ثم يحول كل طاقته الممكنة من جاذبية الى اشعاع . وهذه العملية تكون بطيئة جدا نتيجة لأن اللامشفافية العالية لمادة النجم تجعل انتقال الحرارة من داخل النجم الى خارجه يتم فى ببطء شديد . فيقدر الزمن اللازم لانكماش شمسنا الى نصف حجمها الحالى مثلاً بـ ١٠٠ مليون عام أو يزيد . وأى محاولة للتخلص فى زمن اقل سوف تؤدى الى انطلاق كم أكبر من الطاقة الجاذبية فى الحال . ومن هذا نرى أن السبيل الوحيد للانسراع بمعدل الانكماش حتى نصل الى مرحلة الانهيار الكامل كما فى الانفجارات والانفجارات العظمى هو استنباط ميكانيزم معين يقضى على الطاقة المنطلقة داخل النجم نتيجة للانكماش . فاذا كان من الممكن مثلاً أن نقلل من عتامة (لا شفافية) المادة النجمية بمعامل قدره عدة بلايين لأصبح انهيار النجم أسرع بنفس النسبة بحيث لا يستغرق أكثر من بضعة أيام . وهذا الاحتمال مسنوع تماماً لأن النظرية الحالية للاشعاع تؤكد أن لا شفافية المادة النجمية هى أحد المظاهر المنعكسة من كثافة ودرجة حرارته ولا يمكن خفضها حتى ولو بمعامل انخفاض عشرة فى مائة .

ولقد طرح مؤلف الكتاب وزميله د . « سكينبرج » مؤخراً فكرة تفيد بأن السبب الحقيقى لانهيار النجم مرده الى تكون النويترينات بكميات كبيرة ، هذه الجسيمات النووية التى تعرضنا لها بالتفصيل فى الفصل السابع من هذا الكتاب ، فمن الواضح تعريف النويترينو أنه أنسب العوامل للتخلص من فائض الطاقة الموجود داخل النجم المنكمش حيث ان جسم النجم بأكمله لا يختلف فى نفاذيته بالنسبة للنويترينات من

شفافية الزجاج بالنسبة للضوء . ويبقى أن نتأكد أن النيوترينات تنتج وبكميات كبيرة في باطن النجم المنكمش أو تصبح الفكرة خاطئة .

أما التفاعلات التي لابد من حدوثها لانبعاث النيوترينات فتكمن في أسر أنوية العناصر المختلفة للألكترونات سريعة الحركة . وعندما ينفذ إلكترون سريع إلى نواة الذرة يخرج « نيوترينو » على الطاقة في الحال ، ويحتجز الإلكترون ليتحول النواة الأصلية إلى نواة أخرى غير مستقرة لها نفس الوزن الذري .



عملية « يوركا » في نواة الحديد بما تؤدي إليه من تكوين عدد غير محدود من النيوترينات

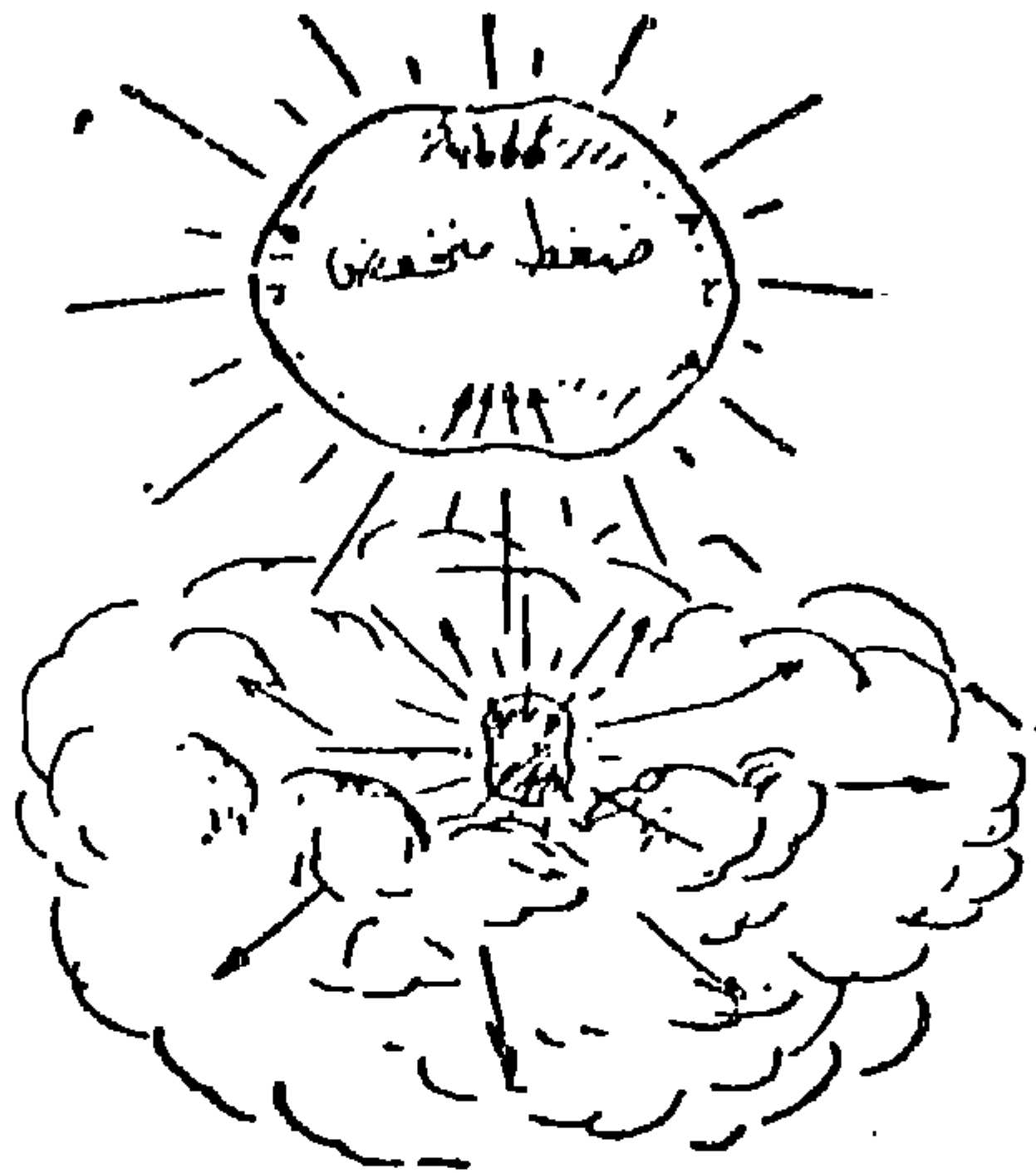
ولما كانت غير مستقرة فانها لا تبقى في الوجود الا فترة محددة ثم تتحلل بعد ذلك طاردة إلكترونات بصحبة النيوترينو آخر . ثم تبدأ العملية من جديد وتؤدي إلى انبعاث آخر النيوترينو جديد (شكل ١٢٥) .

واذا كانت الحرارة والكثافة عاليتين بما يكفي ، كما في باطن النجم المنكمش ، تكون الطاقة المفقودة عن طريق طرد النيوترينات عالية جدا ، فمثلا يكون أسر الإلكترونات ثم إعادة طردها من نواة ذرة الحديد مؤديا إلى فقد طاقة بالنيوترينات تقدر بـ ١١١٠ ارج (*) لكل جرام في الثانية . وفي حالة الأكسجين (حيث يكون الناتج غير المستقر هو النيتروجين المشع بفترة انحلال قدرها ٩ ثوان) قد يفقد النجم ما يقرب من ١٧١٠ ارج في الثانية لكل جرام من مادته . وفي هذه الحالة يكون معدل فقدان الطاقة عاليا إلى درجة أن انهيار النجم لا يتطلب أكثر من ٢٥ دقيقة .

ومن هذا نرى أن بداية اشعاع النيوترينو من المراكز الملتهبة في النجم الساخن كافية تماما لتفسير أسباب الانهيار في النجوم .

(*) وحدة الشغل المطلق في النظام المتري . (المترجم) .

ومع ذلك لابد أن نشير الى أنه على الرغم من امكانية تقدير معدل الطاقة المفقودة نتيجة انطلاق النيوترينات بطرق بسيطة نسبيا الى أن دراسة عملية انهيار النجم تضع أمامنا عقبات رياضية جمة الى درجة أننا لا نستطيع تفسير حوادثها حتى الآن الا تفسيراً نوعياً (وليس كمياً) .
وبديهي أن نتخيل أنه نتيجة نقص الضغط الغازي داخل النجم تبدأ الكتل التي تكون بنيته الخارجية العملاقة في الاتجاه الى مركزه تحت تأثير قوى الجاذبية . ولكن كم نجم يكون في حالة دوران سريع . كما نعرف لذا فان عملية الانهيار تتم في شكل غير متماثل وتنهار الكتل القطبية (التي تقع بانقرب من محاور الدوران) أولا بحيث تضغط على الكتل الاستوائية مما يؤدي الى انبعاجها الى الخارج كما في شكل (١٢٦) .



(شكل رقم ١٢٦)

مرحلة مبكرة وأخرى متقدمة من مراحل الانفجار الأعظم

وهذا يجعل المادة التي كانت قبلا موجودة في أعماق باطن النجم ، وحرارتها بالملايين تطفو على السطح مما يفسر الارتفاع المفاجيء في درجة لمعان النجم . وباستمرار هذه العملية تتجمع مادة النجم القديم المنهارة في مركزه ويتحول الى قزم أبيض عال الكثافة في حين تبرد الكتل المطرودة تدريجيا وتستمر في التمدد مكونة هذا النوع من السدم الذي نشاهده في « سديم السرطان » .

٣ - التطور المعكوس والكون المتمدد :

عند التفكير في الكون ككل نجد أنفسنا في الحال في مواجهة مشاكل حيوية تتعلق بالاحتمالات التي مر بها في زمن التطور . فهل يجب علينا

أن نفترض أنه كان وسيظل دائما على نفس الحال الذى نراه عليه الآن .
تقريبا ؟ أم أن الكون فى حالة تطور مستمر يمر خلالها بعدة مراحل .
مختلفة ؟ .

والتأمل فى الاجابة التى نعتمد فيها على الحقائق التجريبية الأولية
وفى حصاد مختلف أفرع العلوم يفضى بنا الى اجابة قاطعة **فالكون فى حالة .**
تطور تدريجى ، وصورته فى الماضى البعيد وحالته فى الحاضر وما سيكون
عليه فى المستقبل تمثل ثلاث مراحل مختلفة تماما من الوجود . وتشير
الحقائق العديدة التى جمعت من مختلف أفرع العلوم الى أن كوننا بدأ
بداية معينة ، ثم تحول الى وضعه الحالى فى عملية تطور تدريجية . وكما
رأينا من قبل أن عمر نظامنا الكوكبى يقدر ببلايين السنين وهذا الرقم
يفرض نفسه علينا نتيجة التصدى لهذه المشكلة واقتحامها على جبهات
مختلفة . كما أن تكوين القمر كما يتضح لنا مرده الى انتزاع مادته من
جسم الأرض تحت تأثير قوى الجاذبية الشمسية العنيفة . وهذا أمر
لا يمكن أن يكون قد تم الا منذ بلايين السنين .

وتشير دراسة تطور بعض النجوم بعينها (انظر الجزء السابق) الى
أن أغلب هذه النجوم التى نراها الآن فى السماء تبلغ من العمر **عدة بلايين**
من السنين أيضا . ودراسة حركة النجوم بصفة عامة وخاصة الحركة
النسبية للنظم الثنائية والثلاثية الأنجم ، بالإضافة الى النظم الأكثر تعقيدا
وهى المجموعات المعروفة باسم **الحشود المجرية** تؤدى بعلماء الفلك الى
استنتاج أن هذه الأشكال لا يمكن أن يزيد عمر وجودها عن مثل هذه
الفترات أيضا .

وهناك دليل مستقل تماما نستقيه من اعتبارات الوفرة النسبية
لعناصر كيميائية مختلفة ، ولا سيما كميات العناصر المشعة مثل الثوريوم
واليورانيوم التى تتحلل تدريجيا . فاذا كانت هذه العناصر لا تزال باقية
رغم تحللها المستمر فى الكون فلا بد أن نفترض اما أنها تنتج باستمرار من
أنوية أقل وزنا حتى وقتنا هذا ، واما أنها البقية الباقية من مخزون كبير
صنعته الطبيعة فى الماضى البعيد .

وتدفعنا معرفتنا الحالية بقوى التحول النووى الى استبعاد الاحتمال
الأول ، والسبب فى ذلك أن درجة الحرارة حتى فى باطن الأرض أشد
النجوم التهابا لا تصل الى الحد المطلوب لـ « طهى » النواة الثقيلة المشعة .
والواقع كما رأينا فى الجزء السابق أن حرارة النجوم من الداخل تقاس
بعشرات الملايين من الدرجات ، ولكن « طهى » الأنوية المشعة الثقيلة
باستخدام أنوية أخف منها يتطلب عدة بلايين من الدرجات .

وبناء عليه لا مفر لنا من افتراض أن أنوية العناصر الثقيلة قد تكونت في مرحلة قديمة من مراحل تطور الكون ، وفي هذه المرحلة بالذات كانت كل العناصر واقعة تحت تأثير درجات حرارة رهيبة ومعدلات ضغط شديدة جدا بالتالى . ويستطيع أيضا أن نصل بالتقريب الى تاريخ هذه المرحلة « الحرجة » من المراحل الكونية فنحن نعرف أن متوسط فترة عمر الثوريوم واليورانيوم ٢٣٨ هـى ١٨ ، $\frac{1}{4}$ مليون عام على الترتيب . وهذان المعدنان لم تتحلل مادتهما منذ أن تكونا اذ أنهما فى الوقت الحاضر متوفرين تماما كالعناصر الثقيلة الأخرى من الأنواع المستقرة . ومن جهة أخرى فان اليورانيوم ٢٣٥ الذى لا تزيد فترة عمره عن نصف بليون عام أقل توفرا بنسبة ١٤٠ مرة من اليورانيوم ٢٣٨ . وهذه الوفرة الكبيرة لليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم تدل على أن تكوين العناصر ربما كان يرجع الى بضعة بلايين من السنين ، وهذه الكمية الصغيرة من اليورانيوم ٢٣٥ تجعلنا قادرين على تحديد فترة عمر أكثر دقة . والواقع أنه لو كانت كمية هذا العنصر تقل الى النصف كل ٥٠٠ مليون عام فلا بد وأن سبع فترات قد مرت عليه أى 35×910 عاما حتى تصبح كميته $\frac{1}{14}$ من كمية اليورانيوم ٢٣٨ (اذ أن $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{128}$) .

وهذا التقدير لعمر العناصر الكيميائية والمبنى على معلومات للكيمياء النووية فحسب يتفق تماما مع تقدير عمر الكواكب والنجوم والمجموعات النجمية بالمعلومات الفلكية البحتة ! .

ولكن كيف كان حال الكون فى هذه المرحلة المبكرة منذ عدة بلايين من الأعوام عندما كان كل شئ قد تكون على ما يبدو ؟ وما هى التغيرات التى ربما تكون قد حدثت فى الوقت ذاته لكى يتحول الكون الى حالته التى نراه عليها الآن ؟ .

ان أكثر الأجوبة على السؤال السابق شمولا يمكن العثور عليها عند دراسة ظاهرة « تمدد الكون » . وقد رأينا فى الفصل السابق أن الفضاء الكونى الواسع يمتلئ بعدد كبير من النظم النجمية العملاقة أو المجرات ، وأن شمسنا هى مجرد نجم واحد ضمن بلايين النجوم التى توجد فى مثل هذه المجرات المعروفة عامة باسم درب التبانة وقد رأينا أيضا أن هذه المجرات تتوزع بشكل متجانس تقريبا فى الفضاء على مدى البصر (مع الاستعانة بتلسكوب ٢٠٠ بوصة طبعا) .

وبدراسة الأطياف الصادرة عن هذه المجرات البعيدة لاحظ علماء مرصد ويلسون ومعهم « اى هوبل » أن خطوط الطيف تنحاز قليلا نحو

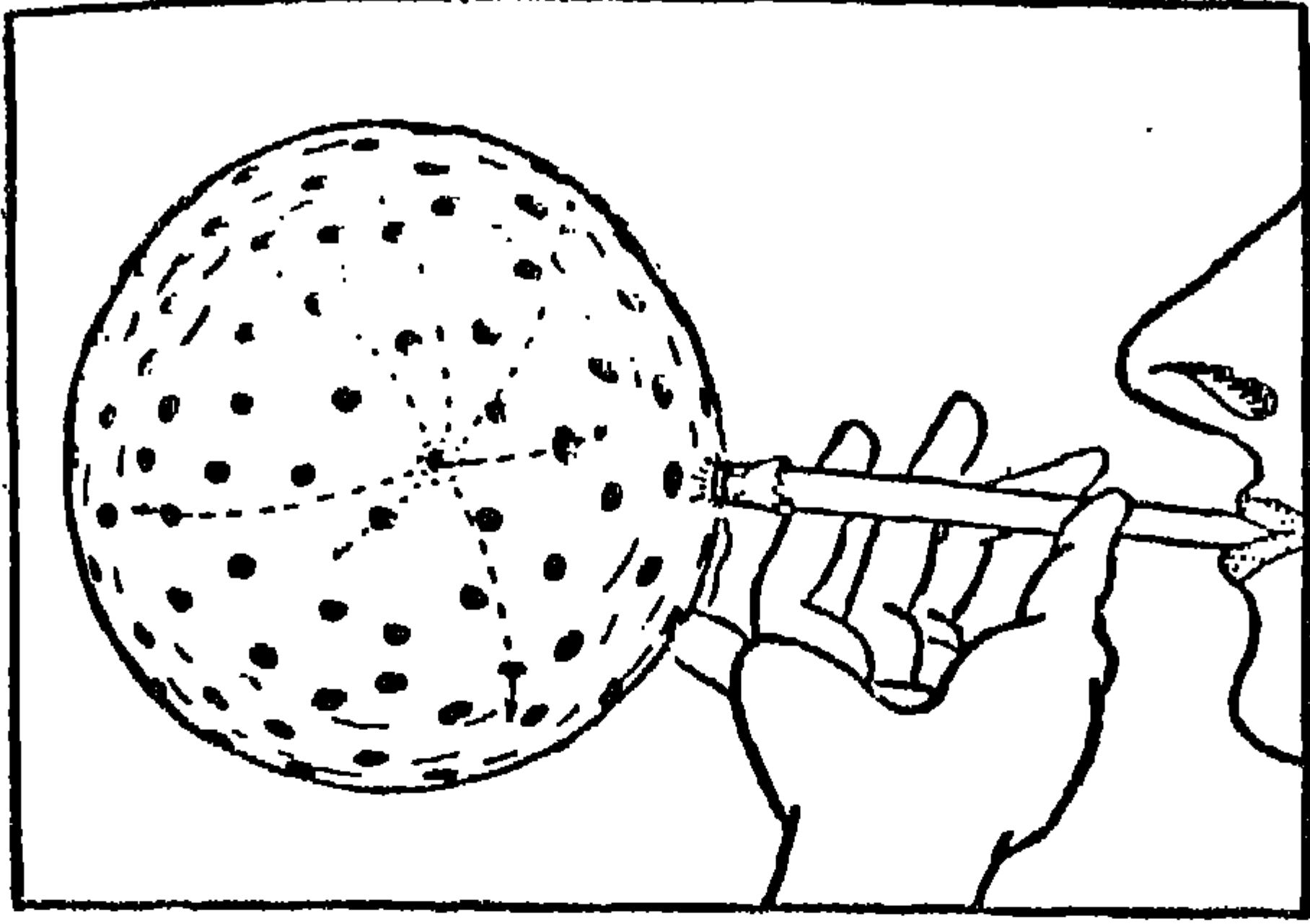
الحد الأحمر من هذا الطيف ، وان هذه الازاحة المعروفة بالازاحة الحمراء تكون أقوى فى المجرات البعيدة . ووجد فى الحقيقة أن « الازاحة الحمراء » فى المجرات المختلفة تتناسب طرديا مع بعد المجرة عنا .

وانسب تفسير لهذه الظاهرة أن نفترض أن كافة المجرات تبتعد عنا بسرعة تتزايد كلما زادت المسافة بيننا وبينها . وهذا التفسير يعتمد على ما يطلق عليه « ظاهرة دوبلر » وهى تجعل الضوء الآتى إلينا من مصادر تتحرك فى اتجاهنا يغير لونه نحو الاتجاه البنفسجى من الطيف والضوء الذى يصلنا من مصادر تبتعد عنا يغير لونه نحو الاتجاه الأحمر من الطيف . وحتى يمكن ملاحظة الازاحة لابد بالطبع من أن تكون السرعة النسبية للمصدر بالقياس الى موضع الراصد كبيرة الى حد ما . وعندما قبض على بروفييسور « ر.و. وود » لاختراقه لاشارة حمراء فى بلتيمور وقال للقاضى أن هذه الظاهرة جعلته يرى الاشارة خضراء لأنه كان يقترب منها بسيارته ظن القاضى أنه يسخر منه . ولو كانت معرفة القاضى بالفيزياء أكثر من ذلك لكان قد سأل بروفييسور « وود » أن يحسب السرعة التى لابد وأن السيارة كانت تسير بها ، وفى هذه الحالة كان سيحكم عليه بغرامة سرعة ! .

ونعود الى مشكلة الازاحة الحمراء التى ترى فى طيف المجرات فنجد أنفسنا أمام نتيجة غير مؤكدة . وتبدو جميع المجرات كما لو كانت تفر من أمام درب التبانة بسرعة وكأنها وحش فضائى مخيف أشبه بفرانكشتين ! فما هى اذن الخواص المخيفة لنظامنا النجمى ولماذا يبدو مختلفا بين المجرات ؟ اذا تفكرت فى هذا السؤال قليلا ستجد بسهولة أن مجرتنا لا تختلف فى شئ معين عن باقى المجرات ، وأن باقى المجرات لا تفر منها بالذات ولكنها تفر جميعا من بعضها البعض . وتخيل بالونا من المطاط به نقش على هيئة نقاط مطبوعة على سطحه (شكل ١٢٧) فاذا بدأت فى نفخه بالتدريج يتمدد سطحه الى أحجام أكبر وأكبر ، وتتباعده المسافات بين كل نقطة والأخرى باستمرار بحيث لو كانت حشرة واقفة على إحدى هذه النقاط لظنت أن النقاط الأخرى « تفر بعيدا عنها » . وهذا بالاضافة الى أن سرعة تقهقر النقاط المختلفة على البالون المتمدد سوف تتناسب طرديا مع بعدها عن مكان الحشرة .

وهذا المثال لا شك يوضح تماما أن التقهقر الذى لاحظته « هبل » لا علاقة له بخواص أو موضع مجرتنا ولكن يمكن تفسيره ببساطة على أنه يرجع الى التمدد العام والموحد لنظام المجرات المبعثرة فى فضاء الكون .

ويسنطيع المرء من معرفة سرعة التمدد والبعد بين المجرات المتجاورة
في الوقت الحاضر أن يستنتج أن هذا التمدد لا بد أنه بدأ خمسة بلايين
عام خلت (٦) .



(شكل رقم ١٢٧)

النقاط تفر من بعضها عند تمدد البالون

وقبل هذا العصر الذي بدأت السحب النجمية (التي نطلق عليها
الآن المجرات) تمثل فيه قطاعات من التوزيعات المتجانسة للنجوم في
فضاء الكون ، بل وقبل ذلك أيضا كانت النجوم نفسها منضغطة مع
بعضها وتملأ الكون بغازات ساخنة مسعورة . وإذا رجعنا بالزمن الى
الوراء أبعد من ذلك سنجد أن هذه الغازات كانت أكبر كثافة وأشد
سخونة وقد كان ذلك - أغلب الظن - في الحقبة التي تكونت فيها العناصر
الكيميائية المختلفة (ولا سيما العناصر المشعة) . وسنسير الى الوراء
مع الزمن خطوة أخرى لنجد أن مادة الكون كانت منضغطة في سائل نووي
عظيم الكثافة هائل الحرارة (ارجع الى الفصل السابع) .

والآن بجمع هذه الملاحظات نستطيع أن نتبين الحدود الفاصلة التي
ميزت مراحل عملية التطور وفقا لترتيبها الزمني الصحيح .

وتبدأ القصة بالمرحلة الجنينية للكون عندما كانت المادة التي نستطيع

(٦) تنص بيانات هبل على أن متوسط البعد بين كل مجرتين متجاورتين ١٧ مليون
سنة ضوئية (أو ١٦٦ × ١٩١٠ كم) في حين أن سرعة التباعد المتبادل بينها ٣٠٠ كم/ث .

$$\text{وبافتراض وحدة معدل التمدد يكون الزمن} = \frac{166 \times 10^6}{300} = 5.5 \times 10^8 \text{ ث}$$

= ١٦٦ × ١٩١٠ عام وتشير تقديرات أحدث الى أن عمر التمدد أقدم من ذلك .

رؤيتها الآن على مدى البصر بتلسكوب مرصد ويلسون (في حدود نصف قطر مقدار ٥٠٠٥ مليون سنة ضوئية) منضغطة في كرة لا يزيد نصف قطرها عن ٨ أضعاف نصف قطر الشمس (٧) . ورغم ذلك فإن هذه الكثافة الهائلة لم تستمر على حالها فترة طويلة جدا إذ أن التمدد السريع قد أدى بلا شك الى خفض كثافة الكون الى درجة تساوى كثافة الماء مليون مرة في الثانيةين الأوليين ثم الى كثافة الماء العادية في ساعات قلائل . وفي هذا العصر تقريبا لابد أن هذا الغاز المتصل قد تفكك الى كرات غازية منفصلة وهي النجوم الآن . ثم تباعدت هذه النجوم عن بعضها نتيجة التمدد المستمر فتحللت فيما بعد الى سحب نجمية منفصلة وهي التي تسمى الآن بالمجرات ولا تزال تفرض بعضها البعض الى أعماق الكون المجهولة .

والآن نستطيع أن نسأل أنفسنا عن القوى المسؤولة عن تمدد الكون ؟ وهل سيتوقف هذا التمدد أو هل سيتحول الى انكماش ؟ . وهل هناك احتمال في أن كتل الكون المتمدد سوف تنقلب علينا وتضغط نظامنا (درب التبانة) ، ونظامنا النجمي والشمس والأرض والبشر عليها الى فقاعة ذات كثافة نووية ؟

وفقا للاستنتاجات المعتمدة على أفضل المعلومات المتاحة نستطيع القول بأن ذلك يستحيل أن يحدث . فمنذ قديم الزمان عندما بدأت أولى مراحل التطور تمزقت كل الروابط التي ربما كانت مسئولة عن تماسك الكون وهو الآن يتمدد الى ما لا نهاية بمقتضى قانون القصور الذاتي البسيط . وهذه الروابط كانت تتمثل في قوى الجاذبية التي وقفت حائلا دون تمزق الكون .

وتصور الآن قذيفة مدفعية تنفجر في الفضاء فترسل شظاياها في كافة الاتجاهات (شكل ١٢٨ أ) . فسوف تطير الشظايا بتأثير الانفجار

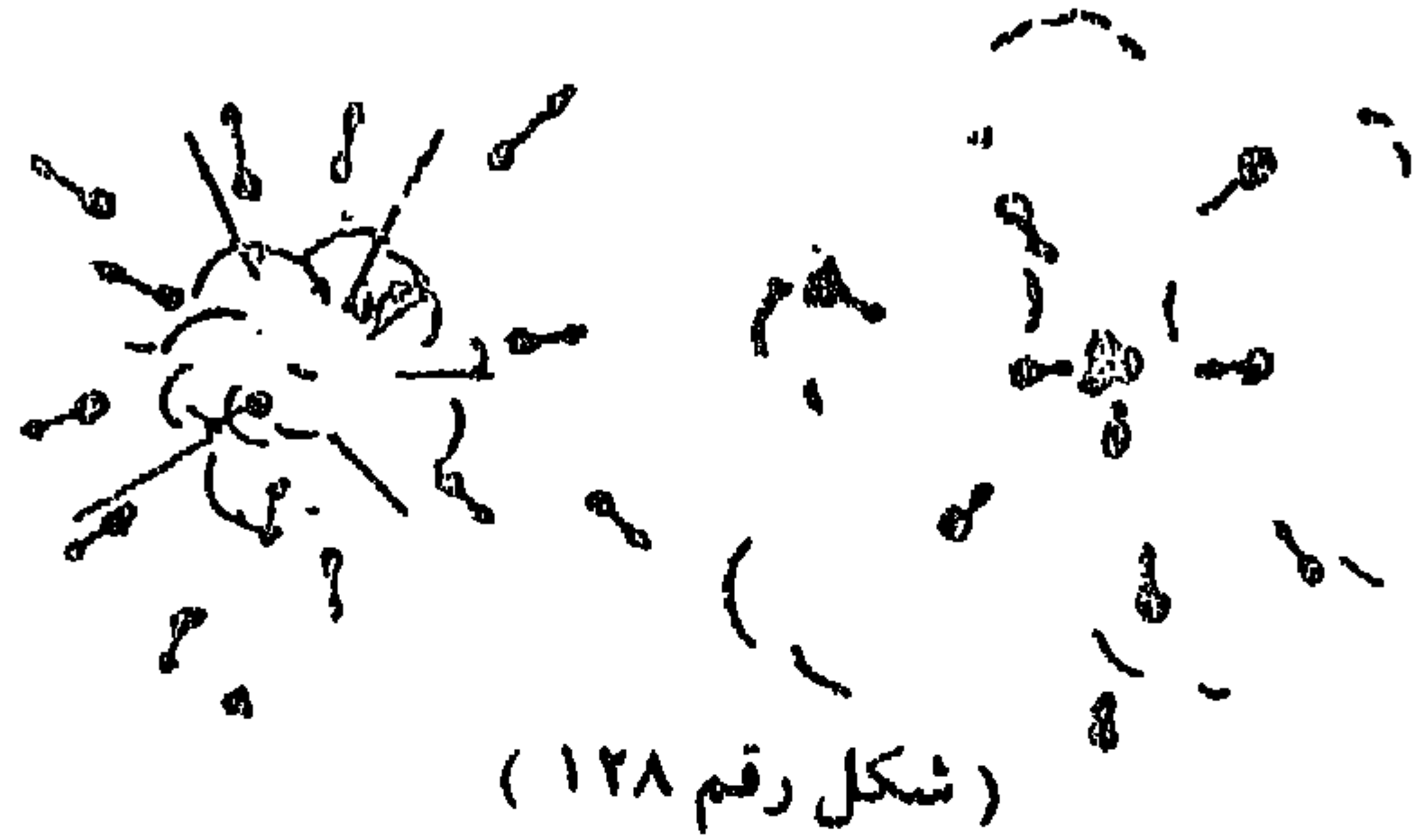
(٧) حيث ان كثافة السائل النووي $\frac{1410}{\text{سم}^3}$ ومتوسط كثافة المادة الفضائية

حاليا هي 10^{-30} جم/سم^٣ فان الانكماش الخطي كان $\sqrt[3]{\frac{1410}{10^{-30}}}$ لذا فان المسافات 10×810

الحالية وهي 810×5 سنة ضوئية لم تكن تزيد في ذلك الوقت عن $\frac{10}{1410 \times 5}$

سنة ضوئية $= 10$ مليون كم .

فقد قوى الجاذبية التي تعمل على ضمها مرة أخرى كما كانت . وبديهي أن طاقة الجذب الكامنة في حالة القذيفة يمكن إهمالها ، فهي من الضعف بحيث تعجز عن التأثير على حركة الشظايا في الفضاء . ومع ذلك فلو كانت هذه القوى أكبر من ذلك ، لاستطاعت أن توقف تطاير الشظايا وتعيدها مرة أخرى إلى مركز الجذب المشترك (شكل ١٢٨ ب) . والتساؤل عما إذا كانت الشظايا ستعود إلى المركز أم ستستمر في مسيرتها لا يمكن معرفة إجابته إلا بمعرفة القيم النسبية لطاقتها الحركية ، والطاقة الكامنة للجذب المتبادل (طاقة الوضع) .



واستبدل بشظايا القذيفة المجرات المنفصلة ويستجد أمدك صورة للكون المتمدد كما تحدثنا عنه في الصفحات السابقة . وهنا على أية حال تزداد أهمية الضخامة البالغة لشظايا المجرات كل على حدة بالنسبة لطاقتها الحركية (٨) . لذا فإن مستقبل التمدد لا يمكن أن يتحدد إلا بالدراسة الواعية للقوتين الداخلتين في هذه العملية .

ووفقا لأفضل المتاح من بيانات عن كتل المجرات يبدو أن الطاقة الحركية للمجرات المتباعدة أكبر بعدة مرات من طاقة الوضع المتبادلة بينها مما يترتب عليه أن هذا الكون سيمتد في التمدد إلى ما لا نهاية دون أن تكون هناك أي فرصة لانكماشه أو تقاربه مرة أخرى . ومع ذلك ينبغي أن نتذكر أن أغلب البيانات الرقمية الخاصة بالكون ليست دقيقة تماما بصفة عامة . ومن الممكن أن تسفر الدراسات المستقبلية عن عكس هذا الاستنتاج ولكن حتى لو توقف الكون عن التمدد فجأة ، وانقلب اتجاه حركته فسوف يكون أمامه بلايين الأعوام قبل أن يحل هذا اليوم الرهيب الذي وصفته الأغنية الزنجية بـ « يوم تنهاوى النجوم » وقبل أن تسحقنا أوزان المجرات المنهارة ! .

(٨) حيث أن الطاقة الحركية للجسم المتحركة تتناسب مع كتلتها فإن الطاقة الكامنة المتبادلة تتناسب زيادة مع مربع كتلتها .

فوما هي هذه القوة الشديدة الانفجار التي أرسلت شظايا الكون بعيدا عن بعضها يمثل هذه السرعة المذهلة ؟ ربما كانت الاجابة مخيبة للآمال :

فربما كان ما حدث ليس انفجارا بالمعنى المعروف . والكون يتمدد الآن لأنه في مرحلة سابقة من تاريخه (ليس لهذه المرحلة أية سجلات بالطبع) كان قد اختزل من لا نهاية الى حالة عالية من الكثافة ، ثم ارتدت كما لو كان مدفوعا بقوى المرونة العالية والكامنة في داخله . ولو دخلت صالة للعبة كرة المنضدة (بنج بونج) فجأة في الوقت الذي كانت الكرة فيه ترتد من الأرض الى السقف سوف تستنتج (دون أن تفكر فعلا) أن الكرة قد سقطت أولا على الأرض في اللحظة السابقة على دخولك . وكان سقوطها من ارتفاع مناسب ثم قفزت بعد ذلك بسبب مرونتها .

ونستطيع الآن أن نسبح بخيالنا دون حدود وأن نسأل أنفسنا عما اذا كان كل شيء يحدث الآن قد حدث بصورة عكسية أثناء مرحلة الانضغاط الشديد .

وهل كنت تقرا هذا الكتاب من آخر صفحة الى الاولى منذ ثمانية او عشرة بلايين عاما ؟ وهل كان أهل ذلك العصر يخرجون من أفواههم الدجاج المحمر ثم يعيدونه حيا الى المطبخ ثم يرسلونه الى المزرعة حيث يصغر في السن من مرحلة البلوغ نزولا الى مرحلة البيضة ثم تتحول البيضة بعد بضعة أسابيع الى بيضة طازجة ؟! وهذه الاسئلة التي تبدو لنا طريفة لا يمكن الاجابة عليها من وجهة النظر العلمية البحتة ، ذلك لأن مرحلة ضغط الكون النهائية التي ضغطت كل المادة وحولتها الى سائل نووي متجانس لابد أنها طمسيت كافة آثار مراحل الضغط السابقة .

فهرس

صفحة	
٥	مقدمة الطبعة العربية
٩	مقدمة
١١	الجزء الأول : اللعب بالأعداد
١٣	الفصل الأول : الأعداد الكبيرة
٣٤	الفصل الثاني : الأعداد الطبيعية والأعداد التخيلية
٥٠	الجزء الثاني : الفضاء والزمن أينشتاين
٥١	الفصل الثالث : الخواص غير العادية للفضاء
٧٣	الفصل الرابع : العالم رباعي الأبعاد
٩١	الفصل الخامس : نسبية الزمن والفضاء
١١٩	الجزء الثالث : الكون الأصغر
١٢١	الفصل السادس : النزول من على السحاب
١٥٣	الفصل السابع : الكيمياء الحديثة
١٩١	الفصل الثامن : قانون الفوضى
٢٢٧	الفصل التاسع : لغز الحياة
٢٦١	الجزء الرابع : الكون الأكبر
٢٦٣	الفصل العاشر : آفاق غير محدودة
٢٨٩	الفصل الحادي عشر : أيام الخلق

● ● كتب صدرت عن مشروع الألف كتاب (الثانى)

المؤلف	اسم الكتاب
برتراند رسل	١ - أحلام الأعلام وقصص أخرى
بي . رادونسكايا .	٢ - الألكترونيات والحياة الحديثة
ألدس هكسلى .	٣ - نقطة مقابل نقطة
ت . و . فريمان	٤ - الجغرافيا فى مائة عام
رايموند وليامز	٥ - الثقافة والمجتمع
ر . ج . فوربس	٦ - تاريخ العلم والتكنولوجيا . ج ٢ .
ليستر ديل راى	٧ - الأرض الغامضة
والتر ألن	٨ - الرواية الانجليزية
لويس فارجاس	٩ - المرشد الى فن المسرح
فرانسوا دوماس	١٠ - آلهة مصر
د . قدرى حفى وأخرون	١١ - الانسان المصرى على الشاشة
أولج فولكف	١٢ - القاهرة مدينة ألف ليلة وليلة
هاشم النحاس	١٣ - الهوية القومية فى السينما العربية
ديفيد وليام ماكداول	١٤ - مجموعات النقود
عزيز الشوان	صيانته . . تصنيفها . . عرضها
	١٥ - الموسيقى - تعبير نغمى - ومنطق
	١٦ - عصر الرواية - مقال فى النوع الأدبى
	١٧ - ديLAN توماس
	مجموعة مقالات نقدية
جون لويس	١٩ - الرواية الحديثة . الانجليزية - والفرنسية
بول ويست	ج ١
د . عبد المعطى شعراوى	٢٠ - المسرح المصرى المعاصر . أصله وبدايته
أنور المعداوى	٢١ - على محمود طه . الشاعر والانسان
بيل شول وأدنبيت	٢٢ - القوة النفسية للأهرام
د . صفاء خلوصى	٢٣ - فن الترجمة

المؤلف	الاسم
رالف ثي ماتلو	٢٤ - تولستوى
فيكتور برومبير	٢٥ - ستندال
فيكتور هوجو	٢٦ - رسائل وأحاديث من المنفى
فيرنر هيرنبرج	٢٧ - الجزء والكل (محاورات فى مضممار الفيزياء الذرية)
سدنى هوك	٢٨ - التراث الغامض ماركس والماركسيون
ف . ع أدنيكوف	٢٩ - فن الأدب الروائى عند تولستوى
هارى نعمان الهيتى	٣٠ - أدب الأطفال . (فلسفته - فنونه - وسائطه)
د . نعمة رحيم العزاوى	٣١ - أحمد حسن الزيات . كاتباً وناقداً
د . فاضل أحمد الطائى	٣٢ - أعلام العرب فى الكيمياء
فرنسيس فرحون	٣٣ - فكرة المسرح
هنرى باربوس	٣٤ - الجحيم
السيد عليوة	٣٥ - صنع القرار السياسى فى منظمات الادارة العامة
جوكوب برونوفسكى	٣٦ - التطور الحضارى للانسان (ارتقاء الانسان)
د . روجر ستروجران	٣٧ - هل نستطيع تعليم الأخلاق للأطفال ؟
كاتى ثير	٣٨ - تربية الدواجن
ا . سبنسر	٣٩ - الموتى وعالمهم فى مصر القديمة
د . ناعوم بيتر وفيتس	٤٠ - النحل والطب
جوزيف داهموس	٤١ - سبع معارك فاصلة فى العصور الوسطى
د . لينوار تشاهبرز رايت	٤٢ - سياسة الولايات المتحدة الأمريكية ازاء مصر ١٨٣٠ - ١٩١٤
د . جون شندلر	٤٣ - كيف تعيش ٣٦٥ يوما فى السنة
بيير البير	٤٤ - الصحافة
الدكتور غبريال وهبه	٤٥ - أثر الكوميديا الالهية لدانتى فى الفن التشكيلى
د . رمسيس عوض	٤٦ - الأدب الروسى قبل الثورة البلشفية وبعدها
د . محمد نعمان جلال	٤٧ - خربة عدم الانحياز فى عالم متغير
فرانكلين ل . باومر	٤٨ - الفكر الأوروبى الحديث

المؤلف	الاسم
شوكت الربيعى	٤٩ - الفن التشكيلى المعاصر فى الوطن العربى ١٨٨٥ - ١٩٨٥
د . محيى الدين أحمد حسين	٥٠ - التنشئة الأسرية والأبناء الصغار
تأليف : ج . دارلى أندرو	٥١ - نظريات الفيلم الكبرى
جوزيف كونراد	٥٢ - مختارات من الأدب القصصى
د . جوهان دورشنر	٥٣ - الحياة فى الكون كيف نشأت وأين توجد ؟
طائفة من العلماء الأمريكىين	٥٤ - مبادرة الدفاع الاستراتيجى حرب الفضاء (دراسة تحليلية لأسلحة واستراتيجيات حرب الفضاء)
د . السيد عليوة	٥٥ - ادارة الصراعات الدولية (دراسة فى سياسات التعاون الدولى)
د . مصطفى عنانى	٥٦ - الميكروكمبيوتر
مجموعة من الكتاب اليابانية القدماء والمحدثين	٥٧ - مختارات من الأدب اليابانى (الشعر - الدراما - الحكاية - القصة القصيرة)
فرانكلين ل . باومر	٥٨ - الفكر الأوروبى الحديث . ج ٢ (الاتصال والتغير فى الأفكار) من ١٦٠٠ - ١٩٥٠
جابر بيل باير	٥٩ - تاريخ ملكية الأراضى فى مصر الحديثة
أنطونى دى كرسبى وكينيت مينوج	٦٠ - أعلام الفلسفة السياسية المعاصرة
فرانكلين ل . باومر	٦١ - الفكر الأوروبى الحديث . ج ٣
دوايت سوبين	٦٢ - كتابة السيناريو للسينما
زافيلسكى ف . س	٦٣ - الزمن وقياسه
ابراهيم القرضاوى	٦٤ - أجهزة تكييف الهواء
بيتر رداى	٦٥ - الخدمة الاجتماعية والانضباط الاجتماعى
جوزيف داهموس	٦٦ - سبعة مؤرخين فى العصور الوسطى .
س . م بورا	٦٨ - مراكز الصناعة فى مصر الاسلامية
د . عاصم محمد رزق	٦٩ - العلم والطلاب والمدارس
رونالد د . سمبسون	
و نورمان د . أندرسون	
د . أنور عبد الملك	٧٠ - الشارح المصرى والفكر .

المؤلف

الاسم

- | | |
|-------------------------|---------------------------------------|
| والت روستو | ١/٨ - حوار حول التنمية |
| فريد هيس | ٧٢ - تبسيط الكيمياء |
| مون بوركهارت | ٧٣ - العادات والتقاليد المصرية |
| آلان كاسبر | ٧٤ - التذوق السينمائي |
| سامي عبد المعطى | ٧٥ - التخطيط السياحي |
| فريد هويل | ٧٦ - البذور الكونية |
| شندرا ويكرا ماسينج | |
| حسين حلمى المهندس | ٧٧ - دراما الشاشة |
| | ٧٨ - الهيروين والايدز |
| فرانكلين ل. بلومر | ٧٩ - الفكر الأوروبي الحديث ج ٤ |
| هاشم النحاس | ٨٠ - نجيب محفوظ على الشاشة |
| دوركاس ماكلينتوك | ٨١ - صور افريقية |
| محمود سرى طه | ٨٢ - الكمبيوتر فى مجالات الحياة |
| حسين حلمى المهندس | ٨٣ - دراما الشاشة ج ٢ |
| | ٨٤ - المخدرات حقائق |
| بوريس فيدوروفيتش سيرجيف | ٨٥ - وظائف الأعضاء من الألف الى الياء |
| ويليام بينز | ٨٦ - الهندسة الوراثية |
| ديفيد الدرتون | ٨٧ - تربية أسماك الزينة |
| أحمد محمد الشنوانى | ٨٨ - كتب غيرت الفكر الانسانى |
| جمعها : جون . ر . بورر | ٨٩ - الفلسفة وقضايا العصر ج ١ |
| وميلتون جولد ينجر | |
| أرنولد توينبى | ٩٠ - الفكر التاريخى عند الاغريق : |
| د. صالح رضا | ٩١ - قضايا وملامح الفن التشكيلى |
| م . هـ . لنج واخرون | ٩٢ - التغذية فى البلدان النامية |
| جمعها : جون . ر . بورر | ٩٣ - الفلسفة وقضايا العصر ج ٢ |
| وميلتون جولد ينجر | |

رقم الايداع بدار الكتب ٧٧٣٩/١٩٩٠

ISBN — 977 — 01 — 2559 — 8

يعد هذا الكتاب من أشهر الكلاسيكات العلمية التي تؤرخ
لتطور علم الفيزياء الحديثة حتى منتصف القرن العشرين
وهي الفترة التي ظهرت فيها أروع نظريتين علميتين وهما
النسبية وميكانيكا الكم اللتين تشكلان أساس المحاولات
الحديثة للوصول إلى النظرية التوحيدية العامة .

وعلى الرغم من لغة القارئ الحديث لاسم هذه النظرية
"النسبية" واسم واضعها اينشتاين وكلمة "البعد الرابع" إلا أننا
نجد صعوبة في فهم هذا التداخل الغريب لعنصر الزمن في
تشكيل رأيتنا للأشياء وهذا هو الإنجاز الحقيقي للكتاب . إذ
إنه يوضح القارئ صورة الكون الرباعي الأبعاد الذي يدخل
فيه الزمن كبعد رابع . وقد نال مؤلف هذا الكتاب جائزة
اليوفيسكو في مجال تبسيط العلوم .